

**DIVERSITAS DAN POPULASI BAKTERI PELARUT FOSFAT PADA
BERBAGAI PENGGUNAAN LAHAN DI UB FOREST**

Oleh

HEYDIANA BUNGA HUTAMY



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
MALANG
2018**

**DIVERSITAS DAN POPULASI BAKTERI PELARUT FOSFAT PADA
BERBAGAI PENGGUNAAN LAHAN DI UB FOREST**

Oleh
HEYDIANA BUNGA HUTAMY
145040201111088

**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI
MINAT MANAJEMEN SUMBER DAYA LAHAN**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu untuk memperoleh Gelar Sarjana
Pertanian Strata Satu (S-1)**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
MALANG
2018**

PERNYATAAN

Dengan ini saya Heydiana Bunga Hutamy menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karnya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suau Perguruan Tinggi manapun, dan sepanjang saya menulis skripsi ini tidak terdapat suatu karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disitir naskah ini dan karyanya disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, Juli 2018

HEYDIANA BUNGA .H.
NIM :145040201111088



Skripsi ini saya persembahkan untuk :

Ibuku Sukarsih dan Ayahku Sumahud Usman S.H.,
Untuk Kakakku, Andika Rahadian C.H. dan Bunga Ayu R.
Terimakasih untuk kasih sayang yang tulus tiada batasnya

Do'a dan motivasi yang telah diberikan ...

Sehingga menghantarkanku pada titik ini...

Lembaran-lembaran ini merupakan bentuk baktiku untuk engkau

Dan yang terakhir untuk siapapun yang selalu bertanya

“Kapan lulus?”

Kepintaran seseorang tidak tergantung pada seberapa cepat dia lulus

Ingatlah, sebaiknya-baiknya skripsi adalah skripsi yang selesai

dan ilmu yang didapat bermanfaat untuk orang sekitarmu ...



LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Skripsi : **Diversitas dan Populasi Bakteri Pelarut Fosfat Pada Berbagai Penggunaan Lahan di UB Forest**

Nama : Heydiana Bunga Hutamy

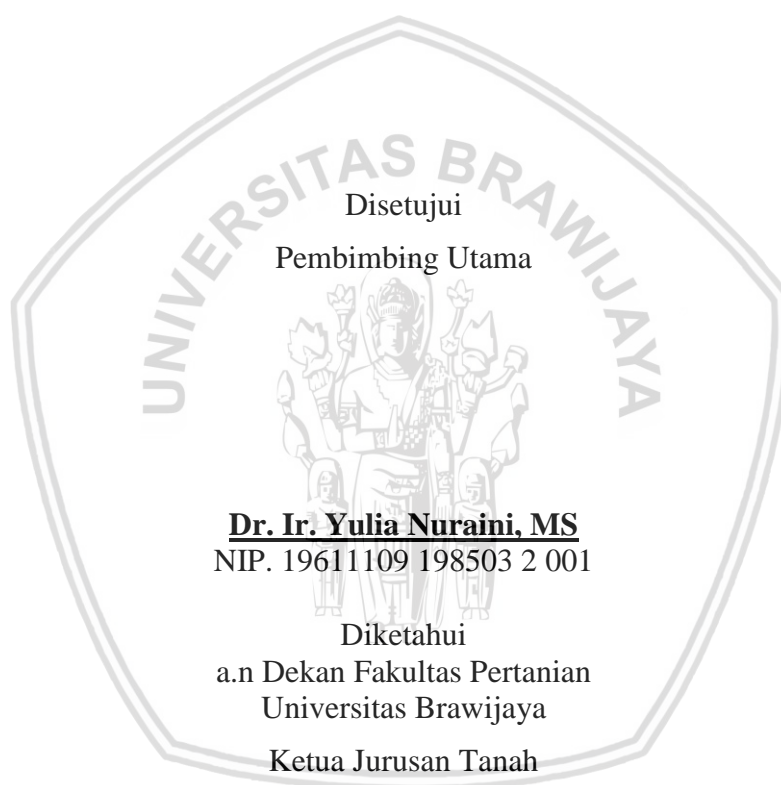
NIM : 145040201111088

Jurusan : Tanah

Program Studi : Agroekoteknologi

Laboratorium : Biologi Tanah

Menyetujui : Dosen Pembimbing



Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU
NIP. 19540501 198103 1 006

Tanggal Persetujuan:

LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan
MAJELIS PENGUJI

Penguji I

Penguji II

Prof. Dr. Ir. Sugeng Priyono, SU
NIP. 19580214 198503 1 003

Dr. Ir. Budi Prasetya, MP
NIP. 19607011 1981703 1 002

Penguji III

Penguji IV

Rika Ratna Sari, SP. MP
NIP : 20160988 0130 2 001

Dr. Ir. Yulia Nuraini, MS
NIP. 19611109 198503 2 001

Tanggal Lulus :

RINGKASAN

Heydiana Bunga Hutamy. 145040201111088. Diversitas dan Populasi Bakteri Pelarut Fosfat pada Berbagai Penggunaan Lahan di UB Forest. Dibawah bimbingan Yulia Nuraini sebagai Pembimbing Utama

Alih fungsi hutan menjadi berbagai penggunaan seperti pertanian dan pemukiman menyebabkan terjadinya perubahan vegetasi. Perubahan vegetasi akibat alih fungsi lahan berdampak pada penurunan bahan organik tanah, kualitas air, sifat kimia dan diversitas biota tanah. Fosfor merupakan unsur hara esensial bagi tanaman. Akan tetapi, ketersediaan unsur P yang sangat rendah yaitu mencapai 0,01 % dari total P karena terikat oleh koloid tanah. Pelarutan fosfat di dalam tanah dapat dibantu oleh bakteri pelarut fosfat dengan dihasilkannya asam organik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan penggunaan lahan terhadap diversitas dan populasi bakteri pelarut fosfat di UB Forest. Mengetahui pengaruh kondisi lingkungan dan kimia terhadap diversitas dan populasi bakteri pelarut fosfat di UB Forest.

Kegiatan penelitian dimulai pada bulan Oktober 2017 sampai dengan Maret 2018 menggunakan metode survey. Lokasi penelitian berada di UB Forest pada lima penggunaan lahan yaitu Kawasan Lindung, Pinus Kopi, Pinus Semusim, Mahoni Kopi dan Mahoni Semusim dengan 3 kali ulangan sehingga terdapat 15 perlakuan. Parameter yang diamati meliputi diversitas, populasi, kemampuan bakteri melarutkan fosfat, kerapatan tajuk, biomassa serasah, suhu tanah dan kelembaban, pH, c-organik p-total dan p-tersedia. Data diolah menggunakan Genstat 17 menggunakan Rancangan Acak Pola Tersarang dan Uji Lanjut Beda Nyata Terkecil (BNT) taraf 5% serta korelasi untuk mengetahui keterkaitan antar parameter.

Diversitas bakteri pelarut fosfat mempunyai hasil yang berbeda pada tiap penggunaan lahan. Perbedaan penggunaan lahan berpengaruh nyata terhadap populasi bakteri pelarut fosfat. Total Bakteri Pelarut Fosfat tertinggi terletak di plot Kawasan Lindung (KL) sebesar 103×10^6 cfu.ml⁻¹ dan terendah sebesar 7×10^6 cfu.ml⁻¹ pada plot Pinus Semusim (PS). Terdapat 11 isolat bakteri yang mampu melarutkan sumber fosfat pada media Pikovskaya ditandai dengan adanya zona bening pada tepian koloni bakteri dengan Indeks zona bening sebesar 2 mm dan 1.78 mm. Kondisi lingkungan yang berkaitan dengan kerapatan tajuk, serasah, suhu dan kelembaban berpengaruh terhadap bakteri pelarut fosfat. Semakin tinggi kerapatan tanaman yang diperoleh dari proyeksi tajuk dan kondisi lingkungan yang baik serta ketersediaan substrat dapat meningkatkan populasi bakteri pelarut fosfat.

SUMMARY

Heydiana Bunga Hutamy. 145040201111088. Diversity and Population of Phosphatase Solubilizing Bacteria on various land use in UB Forest. Advised by Yulia Nuraini as Senior Advisor.

Forests are often converted into various use such as agriculture and settlement causing vegetation changes. Land use has an effect on litter input in each crop. Changes in vegetation due to land conversion have an impact on decreasing soil organic matter, water quality, chemical properties and diversity of soil biota. Phosphorus is an essential nutrient for plants. Availability P is very low element reaches 0.01% of the total P, because it is bound by the soil colloids. Phosphate dissolution in the soil assisted by phosphate solubilizing bacteria with the production of organic acids. The purpose of this research are to know the difference of land use to the diversity and population of phosphate solubilizing bacteria in UB Forest and the effect of environmental on the diversity and population phosphate solubilizing bacteria in UB Forest.

The research activities start from October 2017 to March 2018 with survey method. The research was conducted on five land uses: Protected Area (KL), Pine and Coffee (PK) , Annual Pine (PS) , Mahogany Coffee (MK) and Annual Mahogany (MS) with 3 replications so that there are 15 treatments. Parameters observed included soil biology as bacterial diversity, bacterial population, Phosphate Dissolution Potency and pathogenicity test, canopy density, litters Biomass, Soil Temperature and humidity, pH, c-organic P-total, and P- available. The data were processed using Genstat 17 used Nested Design and LSD (Least Significant Defference) 5% level and correlation to know the relation between parameters.

Diversity of Phosphate Solubilizing Bacteria different on each land use. Differences in land use significantly affected the population of phosphate solubilizing bacteria. The highest population of phosphate solubilizing bacteria is located in the plot of Protected Area (KL) of 103×10^6 cfu.ml⁻¹ and the lowest is 7×10^6 cfu.ml⁻¹ on the Plot of Annual Pine (PS). There are 11 bacterial isolates capable of dissolving the phosphate source in Pikovskaya media characterized by a holozone on the edge of bacterial colony with a holozone ratio of and 1.78 The higher plant density obtained from canopy projection, suitable environment and sufficient substract can increase the population of phosphate solubilizing bacteria.

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran ALLAH SWT yang telah memberikan karunia serta hidayahnya sehingga saya dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “Diversitas dan Populasi Bakteri Pelarut Fosfat Pada Berbagai Penggunaan Lahan Di UB Forest” terselesaikannya proposal ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu saya menyampaikan terimakasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU. Selaku ketua Jurusan Tanah yang telah memberikan persetujuan untuk pelaksanaan kegiatan penelitian ini.
2. Dr. Ir. Yulia Nuraini, MS. selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan pengarahan dan bimbingan dalam pembuatan skripsi ini.
3. Nina Dwi Lestari, SP, M.Ling selaku dosen yang telah membantu menyusun laporan dan membantu kegiatan selama di lapang.
4. Ibu Sukarsih, Ayah Sumahud Usman S.H., ketiga kakak saya Andika Rahadian C.H., Bunga Ayu Rahmadhany dan Andi Saputro yang ada dirumah yang selalu memberikan dukungan dan semangat dalam pembuatan skripsi,
5. Partner Penelitian saya Fitra Marchela Putri yang turut membantu dan selalu memberi semangat dalam pelaksanaan penelitian ini.
6. Rekan saya Amalia, Meidi, dan kakak saya Siska dan Christy yang telah memberikan semangat dalam penyusunan skripsi ini.
7. Rekan-rekan warga tanah dan MSDL 2014 yang telah mendukung dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa proposal penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga saran dan kritik yang membangun dari pembaca sangat penulis harapkan. Semoga proposal ini dapat bermanfaat bagi teman, mahasiswa, pihak-pihak di lokasi penulis dalam melaksanakan penelitian, masyarakat umum dan berbagai pihak lain serta khususnya bagi penulis.

Malang, Juli 2018

Heydiana Bunga Hutamy

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di kota Magetan pada tanggal 21 April 1996 sebagai anak ke tiga dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Sumahud Usman Setio Hutomo dan Ibu Sukarsih. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Lembeyan Kulon 1, Kecamatan Lembeyan, Kabupaten Magetan pada tahun 2002 dan selesai pada tahun 2008. Setelah lulus dari SDN Lembeyan Kulon 1, penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Lembeyan, Kecamatan Lembeyan, Kabupaten Magetan pada tahun 2008 hingga 2011. Pada tahun 2011 penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Parang, Magetan selesai pada tahun 2014. Pada tahun 2014 penulis masuk dalam perguruan tinggi S-1 melalui jalur SNMPTN di Universitas Brawijaya Malang, Fakultas Pertanian, Program Studi Agroekoteknologi, Minat Manajemen Sumber Daya Lahan, Laboratorium Biologi Tanah.

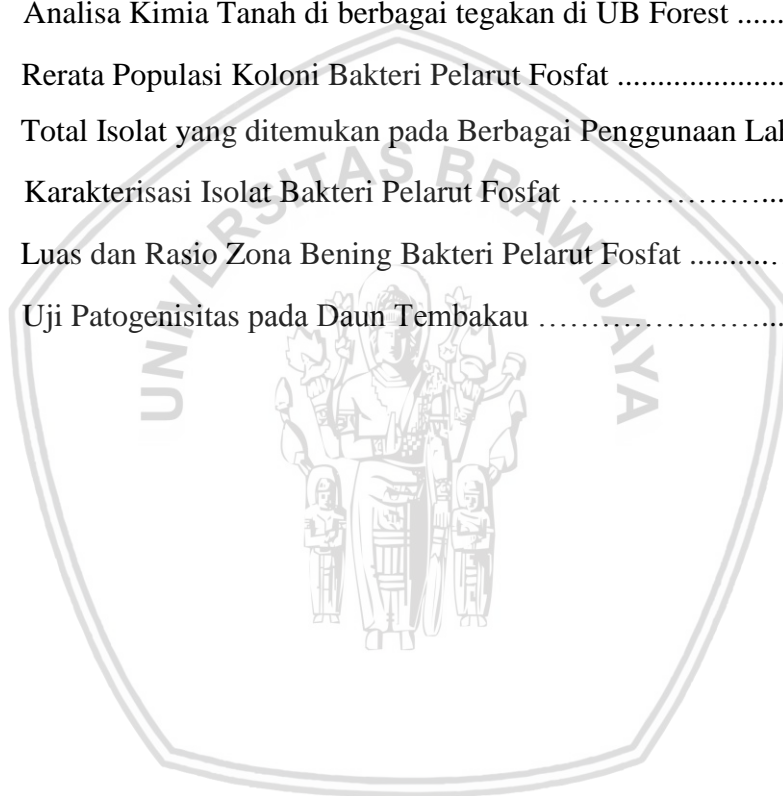
Selama menjadi mahasiswa di Universitas Brawijaya, penulis aktif di LKM Farmers (Fabulous Agriculture Student Melted into English Society) pada tahun 2015 dan beberapa kepanitiaan seperti VOYAGE (Valiant of Young Agen Generation) pada tahun 2015 dan GATRAKSI 2017. Selain itu penulis juga turut aktif dalam menjadi asisten Manajemen Agroekosistem tahun 2018. Pada tahun 2017, penulis melakukan kegiatan magang kerja yang dilakukan di Balai Penelitian Tanaman Jeruk dan Buah Subtropika, Tlekung, Kota Batu.

DAFTAR ISI

RINGKASAN	7
SUMMARY	8
KATA PENGANTAR	9
RIWAYAT HIDUP	10
DAFTAR ISI	11
DAFTAR TABEL	12
DAFTAR GAMBAR	13
I. PENDAHULUAN	Error! Bookmark not defined.
1.1 Latar Belakang	Error! Bookmark not defined.
1.2 Rumusan Masalah	Error! Bookmark not defined.
1.3 Tujuan	Error! Bookmark not defined.
1.4 Hipotesis	Error! Bookmark not defined.
1.5 Manfaat	Error! Bookmark not defined.
1.6 Alur Pikir	Error! Bookmark not defined.
II. TINJAUAN PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
2.1 Alihguna Lahan Hutan	Error! Bookmark not defined.
2.2 Senyawa P dalam Tanah	Error! Bookmark not defined.
2.3 Mekanisme Pelarutan senyawa P	Error! Bookmark not defined.
2.4 Permasalahan Fiksasi P pada Tanah	Error! Bookmark not defined.
2.5 Mikroba tanah	Error! Bookmark not defined.
2.6 Pengaruh Penggunaan Lahan terhadap Mikroba Tanah	Error! Bookmark not defined.
2.7 Bakteri Pelarut Fosfat	Error! Bookmark not defined.
III. METODE PENELITIAN	Error! Bookmark not defined.
3.1 Lokasi dan waktu pelaksanaan penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.2 Alat dan bahan	Error! Bookmark not defined.
3.3 Rancangan dan Parameter Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.4 Pelaksanaan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.5 Analisis Data	Error! Bookmark not defined.
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	Error! Bookmark not defined.
4.1 Karakteristik Lingkungan di UB Forest	Error! Bookmark not defined.
4.2 Sifat Kimia Tanah di UB Forest	Error! Bookmark not defined.
4.3 Diversitas Bakteri Pelarut Fosfat	Error! Bookmark not defined.
4.3 Pembahasan Umum	Error! Bookmark not defined.
5 KESIMPULAN DAN SARAN	Error! Bookmark not defined.
5.1 Kesimpulan	Error! Bookmark not defined.
5.3 Saran	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
LAMPIRAN	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1.	Perlakuan Penelitian	15
2.	Parameter Pengamatan	16
3.	Rarata Kerapatan Tajuk pada berbagai Penggunaan Lahan	21
4.	Rerata Berat serasah pada berbagai Penggunaan Lahan	22
5.	Rerata Ketebalan serasah pada Berbagai Penggunaan Lahan	23
6.	Rerata Suhu dan Kelembaban pada berbagai penggunaan lahan.....	25
7.	Analisa Kimia Tanah di berbagai tegakan di UB Forest	25
8.	Rerata Populasi Koloni Bakteri Pelarut Fosfat	30
9.	Total Isolat yang ditemukan pada Berbagai Penggunaan Lahan.....	32
10.	Karakterisasi Isolat Bakteri Pelarut Fosfat	33
11.	Luas dan Rasio Zona Bening Bakteri Pelarut Fosfat	34
12.	Uji Patogenisitas pada Daun Tembakau	35



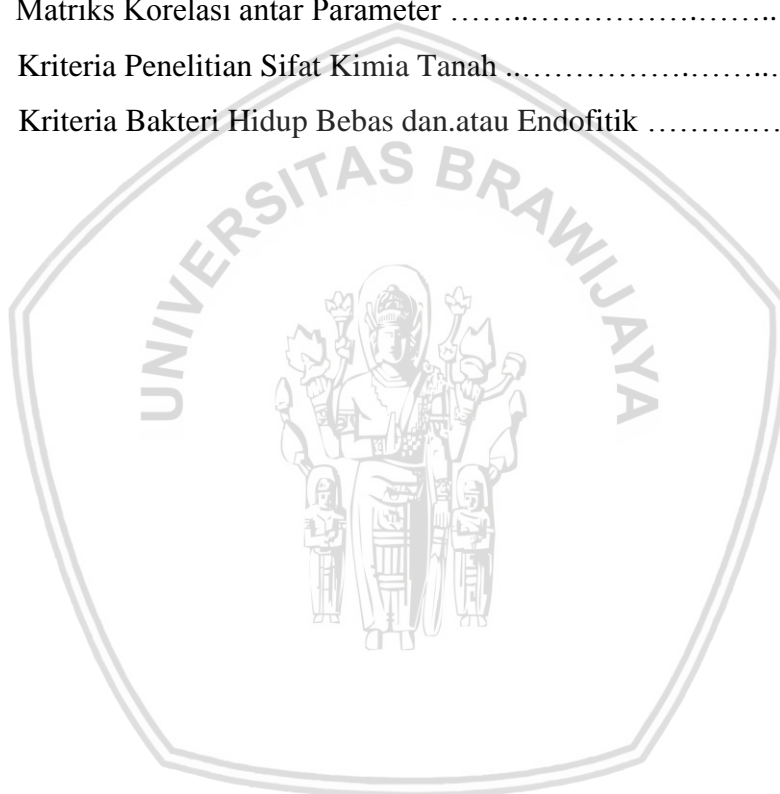
DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1.	Alur Fikir	4
2.	Fungi dan Bakteri Pelarut fosfat pada media pikovskaya	11
3.	Peta Tutupan Lahan UB Forest	12
4.	Lokasi Pengamatan	14
5.	Pembuatan Plot Pengamatan	16
6.	Metode Pengambilan Sampel Tanah dan Serasah.....	18
7.	Bakteri Pelarut Fosfat Hasil isolasi Lahan	29
8.	Uji Patogenisitas pada Tembakau	36



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Halaman
1.	Dokumentasi	46
2.	Detail Pengambilan Sampel Tanah dan Serasah	49
3.	Prosedur Penelitian	50
4.	Perhitungan.....	54
5.	Komposisi Media Pikovskaya,.....	57
6.	Analisa Keragaman (ANOVA)	58
7.	Matriks Korelasi antar Parameter	60
8.	Kriteria Penelitian Sifat Kimia Tanah	61
9.	Kriteria Bakteri Hidup Bebas dan.atau Endofitik	62



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Alih fungsi lahan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya pertumpuhan penduduk. Berdasarkan Data Pusat Statistik pada tahun 2017, menunjukkan bahwa peningkatan jumlah penduduk di Indonesia pada tahun 2000 hingga 2010 mencapai 237,64 juta jiwa dengan peningkatan jumlah penduduk dari tahun 2000 hingga 2010 mencapai 1,49 juta jiwa. Semakin meningkatnya penduduk maka kebutuhan hidup akan meningkat berupa lahan tempat tinggal dan pangan.

Hutan seringkali di alih fungsikan menjadi berbagai penggunaan seperti pertanian dan pemukiman menyebabkan terjadinya perubahan vegetasi. Perubahan vegetasi akibat alih fungsi lahan berdampak pada penurunan BOT, kualitas air, sifat kimia dan diversitas biota tanah. Kondisi lingkungan yang berubah akan mempengaruhi keanekaragaman mikroba tanah (Bahig *et al.* 2008). Mikroba tanah memiliki peran penting dalam mendegradasi senyawa kompleks dalam tanah bahkan senyawa yang sulit diserap oleh tanaman menjadi unsur-unsur yang tersedia bagi tanaman. Keberadaan vegetasi berkolerasi positif terhadap komposisi dan komunitas mikroba tanah, dimana tanpa vegetasi memiliki jumlah dan jenis bakteri yang lebih rendah (Zul *et al.* 2007).

Agroforestri merupakan sistem pengelolaan lahan berkelanjutan yang mana untuk meningkatkan produksi lahan dengan menggabungkan produksi tanaman hutan dengan atau tanpa binatang secara bersamaan dalam suatu lahan dan menerapkan manajemen yang sesuai dengan kebudayaan masyarakat lokal (Bene *et al.* 1977). Salah satu fungsi agroforestri yaitu untuk menambah cadangan karbon di alam karena C disimpan dalam bentuk biomasa dari vegetasinya serta bahan organik tanah (BOT). Bahan organik tanah yang telah terdekomposisi akan menjadi substrat bagi mikroba tanah.

UB Forest merupakan hutan pendidikan yang termasuk kedalam lahan agroforestry dengan berbagai jenis tanaman, mulai dari tanaman tahunan (pinus, sengon, mahoni) perkebunan (kopi) dan tanaman semusim (hortikultura, rumput gajah dan tanaman obat). UB Forest terletak pada lereng gunung Arjuna. Penggunaan lahan berpengaruh dalam input serasah pada tiap tanaman. Perbedaan

jenis penggunaan lahan menyebabkan perbedaan cadangan karbon yang tersedia di alam serta berpengaruh dalam kelimpahan mikroorganisme dalam tanah. Selain itu, pengaruh vulkanik gunung Arjuna dapat mempengaruhi ketersediaan hara bagi tanaman.

Tanah memiliki beragam mikroba yang berperan penting. Bakteri merupakan salah satu mikroba yang memiliki peranan penting dalam rantai nutrisi untuk keseimbangan ekosistem. Bakteri berperan dalam penyediaan unsur bagi tanaman, membantu proses dekomposisi bahan organik tanah serta sebagai agens hayati dalam mengendalikan hama penyakit pada tanaman. Salah satu peranan bakteri adalah sebagai pelarut unsur P dalam tanah.

Fosfor merupakan unsur hara esensial bagi tanaman. Fosfor dapat diserap tanaman dalam bentuk H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , dan PO_4^{3-} . Fosfor berasal dari batuan alam yang mengalami pelapukan batuan fosfat atau batuan mineral, sebagian lagi dari pelapukan bahan organik (Indriyanto, 2014). Ketersediaan unsur P yang sangat rendah yaitu mencapai 0,01 % dari total P karena terikat oleh koloid tanah. Tanah yang memiliki pH masam, ketersediaan unsur P terjerap oleh Al dan Fe menjadi Al-P dan Fe-P, sedangkan pada tanah alkali (basa) unsur P akan membentuk senyawa Ca-P yang sukar larut (Simanungkalit *et al.*, 2006).

Pelarutan fosfat di dalam tanah dapat dibantu oleh bakteri pelarut fosfat dengan dihasilkannya asam organik diantaranya asam sitrat, laktat, glutamat, oksalat, suksinat, glioksalat, malat, fumarat dan lain sebagainya. Mekanisme asam organik dalam melarutkan fosfat diawali dengan anion organik bersaing dengan ortofosfat pada permukaan tapak jerapan koloid yang bermuatan positif kemudian pembentukan kompleks logam organik diikuti dengan pelepasan ortofosfat dan modifikasi muatan tapak jerapan oleh ligan organik (Halvin *et al.*, 1999).

Hingga saat ini, banyak penelitian mengenai keanekaragaman mikroba tanah, akan tetapi informasi mengenai keanekaragaman bakteri pelarut fosfat di UB Forest belum banyak diketahui. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilaksanakan yang bertujuan untuk mengetahui diversitas bakteri pelarut fosfat dan potensi pelarutan fosfat di berbagai penggunaan lahan di UB Forest.

1.2 Rumusan Masalah

1. Apa pengaruh perbedaan penggunaan lahan terhadap diversitas dan populasi bakteri pelarut fosfat?
2. Bagaimana pengaruh lingkungan terhadap diversitas dan populasi bakteri pelarut fosfat di tiap penggunaan lahan di UB Forest?

1.3 Tujuan

1. Mengetahui perbedaan penggunaan lahan terhadap diversitas dan populasi bakteri pelarut fosfat di UB Forest.
2. Mengetahui pengaruh kondisi lingkungan terhadap diversitas dan populasi bakteri pelarut fosfat di UB Forest.

1.4 Hipotesis

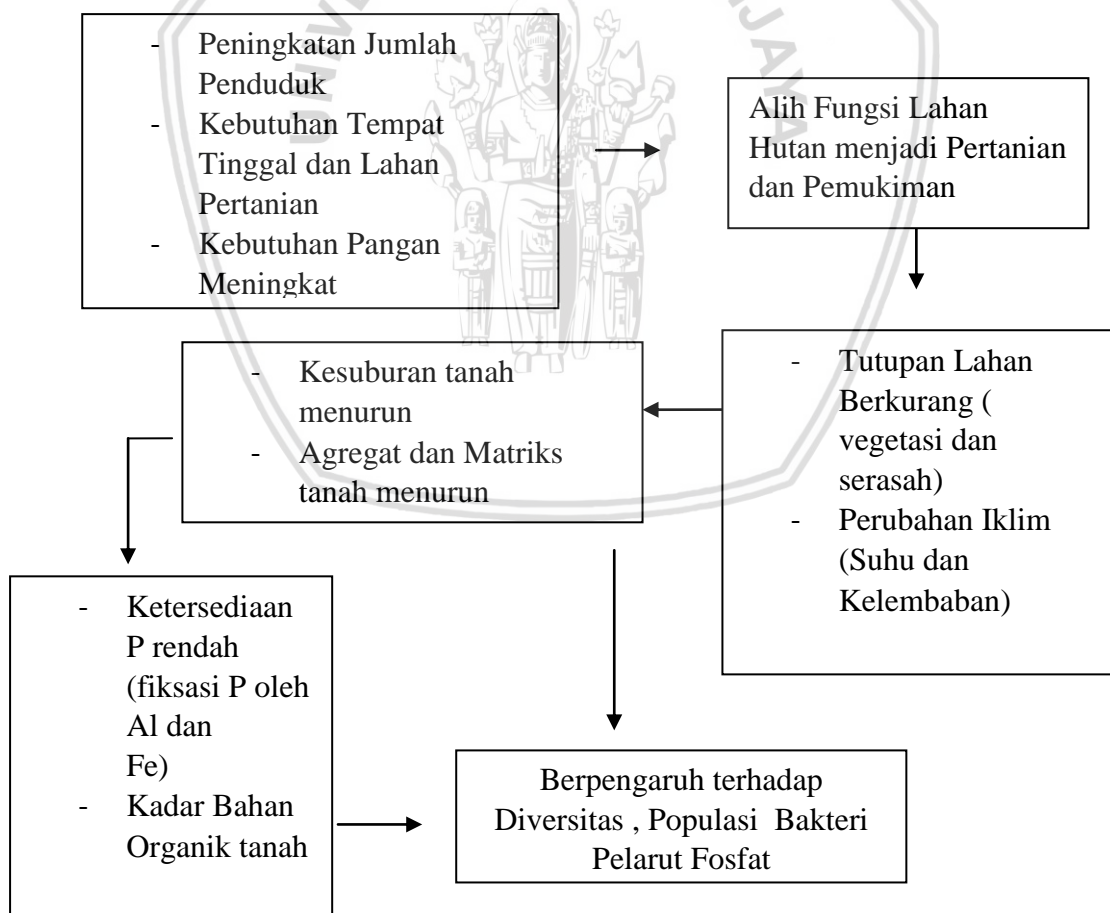
1. Perbedaan penggunaan lahan berpengaruh terhadap diversitas dan populasi bakteri pelarut fosfat
2. Kondisi lingkungan berpengaruh terhadap diversitas dan populasi bakteri pelarut fosfat

1.5 Manfaat

Melalui penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai keragaman bakteri pelarut fosfat dan mengetahui potensi bakteri dalam melarutkan fosfat di berbagai penggunaan lahan di UB forest.

1.6 Alur Pikir

Alih fungsi lahan hutan menjadi pertanian dan pemukiman seiring dengan peningkatan jumlah penduduk mengakibatkan berbagai permasalahan. Akibat dari alih fungsi lahan diantaranya perubahan iklim dan berkurangnya tutupan lahan. UB Forest merupakan hutan pendidikan yang termasuk kedalam lahan agroforestry dengan berbagai jenis tanaman, mulai dari tanaman tahunan (pinus, sengon, mahoni) perkebunan (kopi) dan tanaman semusim (hortikultura, rumput gajah dan tanaman obat). UB Forest terletak pada lereng gunung Arjuna. Penggunaan lahan berpengaruh dalam input serasah pada tiap tanaman. Perbedaan jenis penggunaan lahan menyebabkan perbedaan cadangan karbon yang tersedia di alam serta berpengaruh dalam kelimpahan mikroorganisme dalam tanah. Selain itu, pengaruh vulkanik gunung Arjuna dapat mempengaruhi ketersediaan hara bagi tanaman.



Gambar 1. Alur Fikir

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Alihguna Lahan Hutan

Hutan adalah *land use* dengan *land cover* dari berbagai jenis spesies tanaman yang memiliki tutupan tajuk yang tinggi serta berbagai jenis strata. Hutan memiliki berbagai macam fungsi diantaranya memelihara fungsi hidrologis, mempertahankan keragaman flora dan fauna, memelihara c-stok serta fungsi lain yang bernilai tinggi (Simanjuntak, 2005). Alihguna lahan adalah kegiatan konversi lahan baik secara nilai, sifat, keadaan, status dan kepemilikan menjadi suatu lahan yang sesuai dengan kepentingan yang dianggap lebih menguntungkan untuk kepentingan perorangan/kelompok/badan/ negara (Priyono, 2011).

Penebangan hutan untuk dialih fungsi menjadi lahan pertanian mengakibatkan perubahan vegetasi yang berpengaruh terhadap komposisi komunitas tanah secara struktur maupun komposisi, kondisi lingkungan yang berubah dapat mempengaruhi populasi dan aktivitas mikroba tanah (Fitria *et al.*, 2013). Alih fungsi lahan dapat mengubah sifat fisik dan kimia tanah yang berakibat pada menurunnya kesuburan tanah. jika kesuburan tanah menurun maka, ketersediaan bahan organik tanah akan menurun dan mempengaruhi kehidupan organisme tanah, termasuk mikroba tanah yang memiliki berbagai macam fungsi sebagai dekomposisi tanah (Nurkanto, 2007).

Alih fungsi hutan menjadi lahan pertanian mempengaruhi kualitas tanah. kualitas tanah merupakan indikator penting yang menggambarkan manajemen didalamnya. Integrasi kualitas tanah menggambarkan komunitas dari mikroba. Mikrobiologi dapat mempengaruhi kualitas tanah secara keseluruhan sebelum parameter fisik dan kimia tanah yang berdampak secara keseluruhan terhadap tanaman dan kemampuan tanah (Visser and Parkison 1992 : Collins dan Qualset 1999)

2.2. Senyawa P dalam Tanah

Fosfor pada tanah dibedakan dalam dua jenis yaitu P-organik dan P-anorganik yang memiliki jumlah bervariasi tergantung pada jenis tanah. fosfor organik berasal dari sisa-sisa tanaman, hewan dan mikroba. Terdapat sekitar 50% dari P total di dalam tanah. P-organik tersusun atas senyawa ester dari asam

ortofosfat, yaitu fosfolipid, inositol, asam nukleotida dan gula fosfat (Halvin *et al.*, 1999: Elfianti, 2005).

Aktivitas mikroba tanah berpengaruh terhadap ketersediaan P-organik untuk tanaman. Mikroba tanah membantu proses mineralisasi fosfor di dalam tanah. mineralisasi senyawa P cenderung sukar larut dikarenakan hasil mineralisasi akan segera bersenyawa dengan bagian anorganik. Mikroba tanah terutama yang bersifat heterotrof menghasilkan enzim fosfatase yang berperan dalam melepaskan P dari ikatan P-organik. Faktor C-organik, pH kelembaban, temperatur dan faktor lainnya dapat mempengaruhi aktivitas enzim fosfatase. P-organik total dalam tanah berkorelasi dengan C-organik tanah sehingga mineralisasi P meningkat dengan meningkatnya C-organik tanah. Semakin tinggi C-organik dan semakin rendah P-organik maka akan semakin meningkatkan immobilisasi (Halvin *et al.*, 1999: Elfianti, 2005).

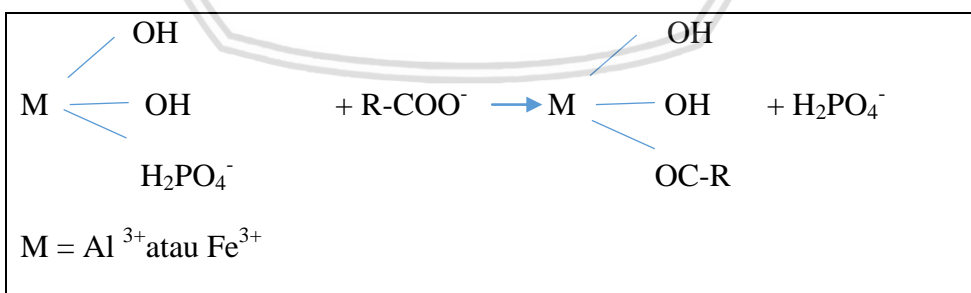
Fosfor anorganik berasal dari mineral fluoroapatit. P-anorganik dibedakan menjadi dua yaitu P aktif dan P tidak aktif. P aktif meliputi Al-P, Fe-P dan Ca-P, sedangkan P tidak aktif meliputi reductant-P occluded-P, dan mineral P primer. Tanah masam memiliki kelarutan Al dan Fe tinggi. Ion fosfat akan terikat membentuk senyawa P yang tidak tersedia bagi tanaman, senyawa yang sebelumnya bersifat koloidal, akan menjadi Kristal *varisit* dan *strengit* dan apabila pH dinaikkan maka akan berubah menjadi tersedia kembali. Dalam kondisi pH diatas netral, P juga jarang tersedia bagi tanaman karena diikat oleh Ca menjadi senyawa yang kurang tersedia dan apabila pH diturunkan P akan tersedia (Nyakpa *et al.*, 1988 dalam Halvin *et al.*, 1999).

2.3. Mekanisme Pelarutan senyawa P

Fosfor didalam tanah bersifat tidak mudah tercuci tetapi karena adanya pengaruh lingkungan status yang tersedia menjadi tidak tersedia dikarenakan salah satunya adalah pengaruh pH yang menyebabkan P terjerap. Pada tanah masam atau yang memiliki pH rendah fosfat akan membentuk senyawa Al-P, Fe-P dan *Ocluded-P*, sedangkan pada tanah yang bersifat alkali atau basa akan membentuk senyawa-senyawa Ca-P, Mg-P, Al-P, Fe-P atau (Halvin *et al.*, 1999 : Elfianti, 2005).

Mekanisme pelarutan fosfat oleh mikroba yaitu mikroba pelarut P akan menghasilkan asam-asam organik seperti glutamate, sitrat, suksinat, laktat, gloiksalat, malat, fumarate. Ketika asam organik meningkat akan diikuti oleh penurunan pH sehingga menyebabkan terjadinya pelarutan P yang terikat oleh Ca. Faktor yang menyebabkan penurunan pH dikarenakan asam sulfat dan nitrat terbebas pada oksidasi kemoautotrofik sulfur dan ammonium secara berturut-turut oleh bakteri *Thiobacillus* dan *Nitrosomonas* (Alexander, 1977 dalam Elfianti 2005). Menurut pendapat Nuraini (2016), Produksi asam organik pada BPF dipengaruhi oleh suhu. Isolat BPF yang diinkubasi pada suhu berbeda akan menghasilkan kandungan asam organik yang berbeda pula. Produksi asam organik akan meningkat pada suhu ruang dan akan berkurang bahkan hilang apabila dinaikkan pada suhu 58°C.

Mekanisme asam organik meningkatkan ketersediaan P adalah sebagai berikut : Anion organik bersaing dengan ortofosfat pada tapak jerapan koloid yang bermuatan positif pelepasan ortofosfat dari ikatan logam-P melalui pembentukan kompleks logam anorganik, dan modifikasi muatan permukaan tapak jerapan oleh ligan organik (Halvin *et al.*, 1999: Elfianti, 2005). Berikut merupakan reaksi pelarutan P oleh penurunan kadar pH dan terdapatnya gugus karboksilat secara sederhana menurut (Elfianti, 2005) :



Asam organik (sitrat, oksalat, dan tartat) merupakan asam organik yang paling kuat yang dihasilkan oleh bakteri dapat mengurangi daya racun Al pada tanaman kapas. (Hue *et al.*, 1986 : Simanungkalit *et al.*, 2006). Mikroorganisme tersebut juga menghasilkan sejumlah fosfat terlarut untuk persediaan nutrisi pada

larutan tanah. Dengan demikian, maka pelarutan fosfat oleh mikroorganisme tanah dapat meningkatkan penyerapan hara untuk tanaman.

2.4. Permasalahan Fiksasi P pada Tanah

Menurut pendapat Illmer dan Schimer (1992) dalam Gupta et al. (2012) fosfor merupakan nutrisi makro esensial yang berfungsi untuk membantu pertumbuhan dan perkembangan tanaman dan mempunyai pengaruh penting dalam proses metabolisme seperti fotosintesis, oksidasi secara alami, penyerapan nutrisi serta pembelahan sel. Sedangkan menurut pendapat Hardjowigeno (2007), P pada tanaman berfungsi mempercepat pematangan, memperkuat batang agar tidak mudah roboh, pembentukan sel, pembentukan albumin, pembentukan bunga, buah dan biji, perkembangan akar dan lain sebagainya.

Akan tetapi, pada total P dalam tanah, yang dapat larut hanya 1-5%, sisanya tidak tersedia karena terjadinya fiksasi pada tanah (Molla dan Clowdary 1984 : Panda et al. 2016). Fiksasi P terjadi karena pengaruh unsur Fe dan Al sehingga P dalam tanah menjadi sukar larut. P jika terfiksasi dengan Fe membentuk *stringit* $\text{Fe}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{PO}_4^-$. Sedangkan P jika terfiksasi dengan Al membentuk *varasit* $\text{Al}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{PO}_4^-$. (Hardjowigeno, 2007).

Permasalahan P lain adalah tingginya retensi P pada tanah Andisols atau tanah yang memiliki sifat andik. Menurut pendapat Maryanto dan Abubakar (2007) menyebutkan bahwa, andisols memiliki kecenderungan retensi P yang tinggi. Retensi P disebabkan oleh adanya mineral alofan, imogilit dan mineral yang mirip dengan alofan. Mineral tersebut memiliki gugus Al-Fe-OH terbuka dimana Al bersifat aktif yang mampu berdisosiasi atau mengalami protonasi sehingga bersifat asam maupun basa (Bohn et al. 1979 : Maryanto dan Abubakar, 2007).

Terdapat faktor yang mempengaruhi ketersediaan P dalam tanah yaitu pH tanah. menurut pendapat Hardjowigeno (2007), pH yang optimum agar P mudah diserap oleh tanah adalah pH netral (pH 6-7). Dalam kondisi tanah masam, P akan terikat oleh unsur Al dan Fe sehingga menjadi tidak tersedia oleh tanaman. Sedangkan pada tanah yang memiliki pH tinggi atau tanah yang bersifat alkalis, P akan diikat oleh Ca^{++} atau CaCO_3^{++} .

2.5. Mikroba tanah

Tanah merupakan tempat hidup berbagai jenis mikroorganisme tanah seperti fungi dan bakteri. Mikroorganisme tanah merupakan faktor penting dalam ekosistem tanah, karena berpengaruh terhadap siklus dan ketersediaan hara tanaman serta stabilitas struktur tanah. Secara umum fungsi mikroba ada empat yaitu meningkatkan ketersediaan unsur hara tanaman didalam tanah, sebagai perobak bahan organik, bakteri rizosfer-endofilik untuk memacu pertumbuhan tanaman dengan membentuk enzim dan melindungi perakaran dari hama penyakit tanaman (Saraswati et al. 2004).

Mikroba diklasifikasikan menjadi beberapa jenis diantaranya bakteri dan fungi sebagai agen dekomposisi utama dalam siklus nutrisi yang menempati posisi penting di tanah dan rantai makanan. Bakteri dan aktinomicetes memiliki jumlah paling banyak dari kelompok mikroba tanah dengan ukuran 1 – 10 μm dan menempati 50% dari total biomassa tanah (Alexander 1977: Collins dan Qualset, 1999). Bakteri ditemukan pada tanah dengan populasi $10^4 - 10^9$ sel g^{-1} tanah. Bakteri memegang peranan penting dalam pendegradasi bahan organik dan siklus hara.

Mikroba tanah berperan dalam proses dekomposisi dan mineralisasi hara yang berasal dari bahan organik dalam tanah dan fiksasi nitrogen oleh rhizobia. Selain itu mikroba tanah berperan sebagai perantara reaksi kimia tanah (Yoshida, 1978). Sejalan dengan pendapat Pelczar bahwa mikroorganisme dapat melakukan proses mineralisasi yaitu mengubah senyawa-senyawa organik seperti karbon, nitrogen, fosfor dan sulfur menjadi senyawa anorganik.

Mikroba berguna *effective microorganism* sebagai komponen habitat alam mempunyai peran yang penting dalam mendukung terlaksananya pertanian yang ramah lingkungan melalui berbagai proses seperti nitrifikasi, dekomposisi bahan organik, mineralisasi, fiksasi hara, pelarut hara, nitrifikasi dan denitrifikasi. Mikroba didefinisikan sebagai produsen hara, tanah sebagai media biosintesis dan hasil kerja mikroba disebut sebagai penyedia utama kebutuhan hara bagi tanaman (Karlen et al., 2006 dalam Saraswati dan Sumarno 2008).

2.6. Pengaruh Penggunaan Lahan terhadap Mikroba Tanah

Mikroba tanah merupakan salah satu indikator kualitas tanah, semakin tinggi populasi mikroba maka semakin tinggi aktivitas biokimia didalam tanah, populasi mikroba yang tidak bersifat patogenik merupakan salah satu indikator pertanian yang ramah lingkungan (Saraswati dan Sumarno 2008).

Perbedaan penggunaan lahan dapat mempengaruhi kesuburan tanah. Indikator kesuburan tanah dapat dianalisis berdasarkan sifat fisika, kimia dan biologi tanah. Kesuburan tanah berkaitan populasi mikroba tanah. Menurut Sulasih et al, (2013), perbedaan penggunaan lahan mempengaruhi persentase bahan organik. Tanah hutan lindung memiliki persentase bahan organik tertinggi dibandingkan lahan kentang dikarenakan memiliki kondisi vegetasi yang masih alami dan serasah yang berfungsi untuk menahan limpasan permukaan. Sejalan dengan pendapat Collins dan Qualset (1999), bahwa mikroorganisme tanah membantu dalam pertumbuhan tanaman dan dapat meningkatkan kompetisi tanaman.

Tanaman memiliki peran sebagai kekuatan selektif dalam populasi mikroba di rhizosfer melalui peningkatan pada hara tanah. Interaksi secara ekologis mikroba akar setelah mengalami pengolahan tanah minimum memberikan perbedaan cepat setelah pembajakan untuk persemaian benih. Pengolahan tanah yang intensif dapat mengubah karakter fisik dan kimia tanah dan dapat mempengaruhi dari populasi mikroba tanah. Sistem pertanian tanpa olah tanah, aktivitas mikroba tanah sangat tinggi, sedangkan dengan pengolahan tanah aktivitas mikroba lebih terdistribusi pada lapisan tapal bajak. (Doran, 1980 : Collins dan Qualset 1999).

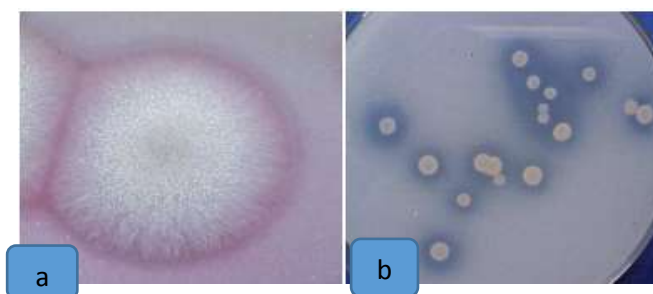
Perubahan penggunaan lahan dapat mempengaruhi keadaan bahan organik tanah. Alih fungsi lahan hutan menjadi lahan pertanian dapat menyebabkan penurunan kadar bahan organik tanah yang akan berpengaruh terhadap mikroorganisme tanah. Tanah yang subur merupakan kondisi yang ideal untuk hidup berbagai macam mikroorganisme tanah . Semakin tinggi tutupan lahan maka semakin banyak serasah yang terdapat dilahan. Serasah terdekomposisi menjadi bahan organik yang digunakan sebagai energy untuk aktifitas mikroba tanah (Iswandi, *et al*, 1995).

2.7. Bakteri Pelarut Fosfat

Bakteri pelarut fosfat (BPF) merupakan bakteri tanah yang termasuk dalam bakteri pemacu pertumbuhan tanaman. Bakteri pelarut fosfat dapat menghasilkan fitohormon dan vitamin yang dapat membantu tanaman dalam pertumbuhan akar tanaman dan penyerapan hara tanaman (Glick, 1995 dalam Widawati dan Sulasih 2006). Bakteri pelarut fosfat hidup di daerah perakaran yaitu mulai dari perakaran sampai dengan kedalaman 25 cm dari permukaan tanah. populasi dari bakteri ini berkaitan dengan jumlah bahan organik yang terdapat di dalam tanah serta perakaran tanah, bakteri yang berada di daerah perakaran akan lebih aktif dibandingkan bakteri yang hidup jauh dari perakaran tanah (Suriadikarta dan Simanungkalit, 2006).

Bakteri ini memiliki kemampuan untuk melarutkan P yang terdapat di dalam tanah yang sebelumnya bersifat tidak tersedia menjadi tersedia bagi tanaman. Selain itu fosfor berperan menyimpan dan mentransfer energi dan komponen protein serta asam nukleat. Bakteri pelarut fosfat memegang peranan penting dalam nutrisi tanaman untuk meningkatkan P dalam tanaman yaitu dengan penggunaan PGPR sebagai biofertilizer dalam pertanian (Hilda, 1999).

Terdapat mikroba pelarut P anorganik sekitar 10^4 - 10^6 per gram tanah dan sebagian berada di sekitar perakaran tanah. Berbagai spesies mikroba pelarut fosfat diantaranya lain *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Rhizobium*, *Erwinia*, *Serratia*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Acinetobacter* and *Flavobacterium*. dari berbagai bakteri tersebut yang memiliki kemampuan untuk melarutkan fosfat paling tinggi adalah genus *Bacillus* dan *Pseudomonas* (Hilda, 1999).



Gambar 2. Fungi (a) Bakteri (b) Pelarut fosfat yang membentuk zona bening pada media selektif pikovskaya (Sumber : Pupuk Organik dan Pupuk Hayati, 2006

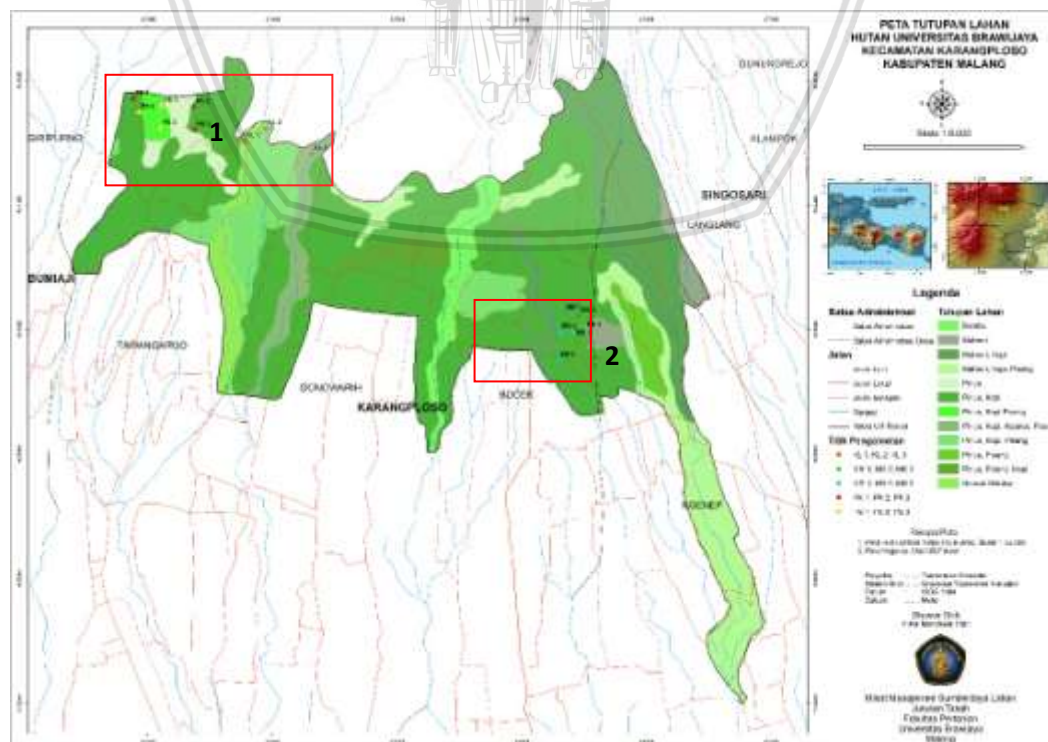
III. METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi dan waktu pelaksanaan penelitian

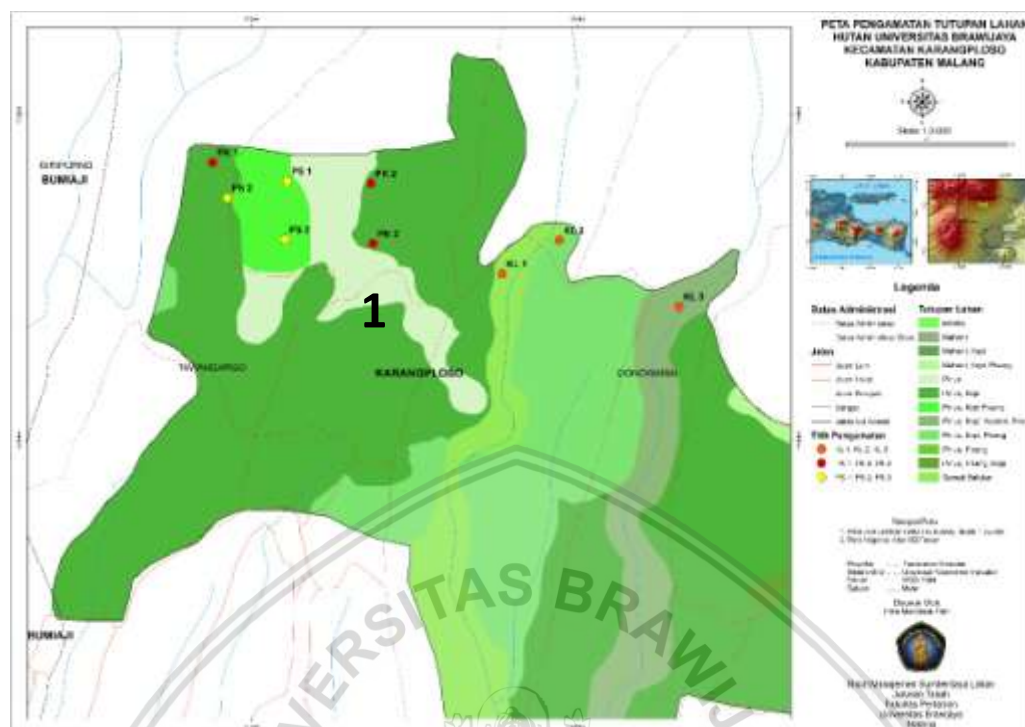
Penelitian dilaksanakan mulai bulan Oktober 2017 sampai dengan April 2018. Lokasi penelitian yang dipilih adalah UB Forest. Penelitian dilaksanakan di dua tempat yakni, Dusun Summersari, Desa Tawangargo dan Dusun Buntoro, Desa Bocek, Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang. Terdapat sistem agroforestri berbasis pinus, mahoni, kopi dan tanaman sayuran. Total terdapat 5 sistem agroforestri yang akan diamati diversitas dan populasi bakteri pelarut fosfat (Lampiran 4).

1. Kawasan hutan lindung dengan aneka jenis pohon (KL)
2. Agroforestri sederhana Mahoni dan Talas (MS)
3. Agroforestri sederhana Pinus dan Wortel (PS)
4. Agroforestri sederhana Pinus dan Kopi (PK)
5. Agroforestri sederhana Mahoni dan Kopi (MK)

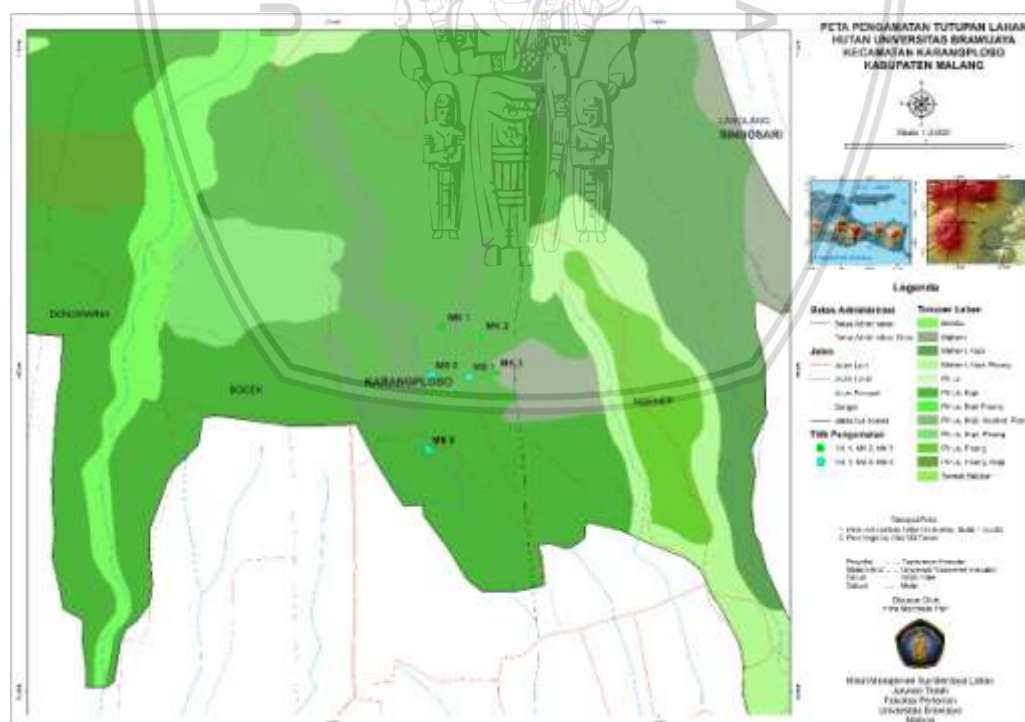
Kemudian data pengamatan dari lapang dibawa ke laboratorium Biologi dan Kimia Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya untuk dianalisis sifat kimia tanah, karakterisasi dan dilakukan pengujian potensi bakteri sebagai pelarut fosfat.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. (a) Peta Tutupan Lahan UB Forest. (b) Peta Tutupan Lahan UB Forest dusun Summersari Plot Kawasan Lindung (KL); Pinus Kopi (PK); Pinus Semusim (PS); (c) Peta Tutupan Lahan dusun Buntoro Plot Mahoni

Semusim (MS); Mahoni Kopi (MK) (Sumber : Lab PSISDL Jurusan Tanah FP-UB)

Berikut merupakan gambaran secara detail lokasi penelitian yang dibagi menjadi lima penggunaan lahan yang tersaji pada gambar 4.



Gambar 4. Lokasi Pengamatan (Keterangan : (a) Kawasan Lindung dengan berbagai jenis tanaman) ; (b) Pinus Kopi ; (c) Pinus wortel ; (d) Mahoni Kopi ; (e) Mahoni talas)

3.2. Alat dan bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah ring sampel, palu, frame serasah, gunting, rafia, plastik, meteran jahit, thermometer, kamera, berfungsi untuk pengamatan kerapatan vegetasi dan cover pada plot pengamatan. Sekop, plastik, *cooling box* untuk kegiatan pengambilan sampel tanah; LAFC (*Laminar air flow cabinet*), bunsen, autoclave, timbangan analitik, pipet mikro, jarum ose, mikroskop *glassware* yang berfungsi untuk isolasi bakteri; nampan plastik, timbangan, erlemeyer, kertas label, cawan, timbangan *glassware* untuk kegiatan analisis sifat kimia tanah.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel tanah utuh dan terganggu yang berasal dari UB Forest dan bahan-bahan kimia yang akan digunakan untuk analisis kimia tanah. media yang digunakan untuk perkembangbiakan dan isolasi bakteri adalah media Pikosvkaya (Lampiran 5).

3.3. Rancangan dan Parameter Penelitian

Pengukuran biodiversitas bakteri pelarut fosfat dilakukan dengan menggunakan metode survei dan analisa laboratorium. Penelitian ini terdiri atas lima perlakuan yang disajikan dalam Tabel 1. Pengambilan sampel dari kelima perlakuan diulang sebanyak tiga kali dengan total 15 sampel pengamatan. Data diolah menggunakan Rancangan Acak Pola Tersarang . Pada penelitian ini paramater yang diamati adalah populasi bakteri dan kemampuan bakteri dalam melarutkan fosfat (Tabel 2).

Tabel 1. Perlakuan Penelitian

No	Kode	Luas Plot (m)	Keterangan
1	KL	20x20	Kawasan Hutan Lindung
2	PK	20x20	Pinus dan Kopi (pinus KU6 + Kopi umur 5 tahun)
3	PS	20x20	Pinus dan Sayuran (Wortel) (pinus KU6)
4	MK	20x20	Mahoni dan Kopi (mahoni KU6 + kopi umur 5 tahun)
5	MS	20x20	Mahoni Tanaman Semusim (Talas) (mahoni KU6)

Keterangan : KL : Kawasan lindung, PK : Pinus kopi, PS : Pinus + wortel, MK : Mahoni kopi, MS : Mahoni + talas.

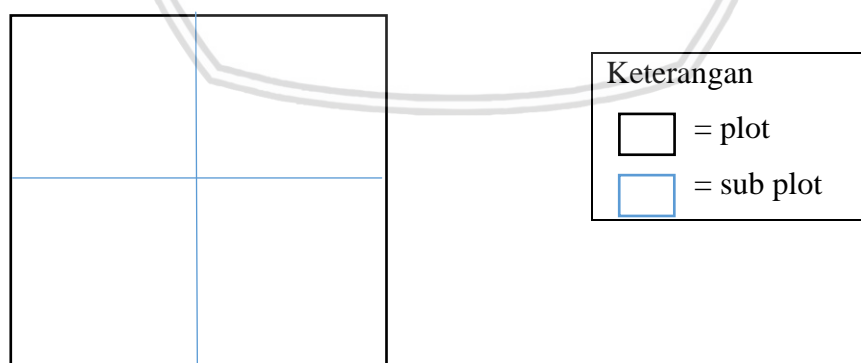
Tabel 2. Parameter pengamatan

Objek	Parameter	Metode Analisa	Satuan
Biologi tanah	Uji potensi bakteri pelarut fosfat	Pikovskaya	mm
	Populasi bakteri pelarut fosfat	Total Plate Count	cfu/ml
	Suhu dan Kelembaban	Termometer	°C
Mikroba	Uji Patogenisitas	Schaad et al., 2001	-
Kimia Tanah	P- total	20 % HCl	ppm
	P-tersedia	Olsen atay Bray	ppm
	pH	Glass Electrode	-
	C- Organik	<i>Walkley & Black</i>	%
	Kadar Air	Oven	%
Cover Tanaman	Kerapatan tajuk	Metode pixel	%
	Ketebalan serasah		cm
	Biomassa tumbuhan bawah	Hairiah, et al., 2007	g

3.4. Pelaksanaan Penelitian

1. Penetapan Plot Pengamatan

Pembuatan plot dilakukan dengan cara membuat plot berukuran 20 x 20 m = 400 m² pada setiap penggunaan lahan. Kemudian dibagi kedalam 4 kuadran sebagai sub plot (Indrayanto, 2012). Pada plot pengamatan akan diamati kerapatan pohon, yang meliputi tutupan tajuk, pengambilan biomassa tumbuhan bawah, suhu dan kelembaban, pengambilan contoh tanah untuk analisis biologi dan kimia tanah.



Gambar 5. Pembuatan plot pengamatan

2. *Pengukuran Kerapatan Tajuk*

Kerapatan merupakan proporsi permukaan tanah yang tertutup oleh tumbuhan atau luasan daerah yang ditempati oleh tumbuhan dan dapat dinyatakan dalam tutupan tajuk (*canopy cover*) dan penutupan basal (*basal cover*) dengan satuan individu per hektar. (Gopal dan Bhradwaj, 1979 : Indriyanto, 2012).

Tutupan tajuk dapat diperoleh dari proyeksi tajuk tumbuhan dan dinyatakan dalam bentuk persen (%). Untuk mengukur persentase tutupan tajuk pohon pada suatu luasan dapat dilakukan menggunakan metode pixel dengan kamera digital. Persentase tutupan lahan oleh tautan tajuk pohon dalam sistem diproyeksikan dalam pixel gelap terang dan dihitung per total pixel gambar yang diperoleh. Pengambilan gambar sebanyak 10 titik pada tiap sistem. (Prabowo dan Suharyadi, 2017)

3. *Pengambilan Sampel Tanah*

Sampel tanah diambil secara acak dan mewakili masing-masing kondisi tutupan lahan yang berbeda karakteristiknya. Pengambilan sampel tanah dilakukan secara acak pada masing-masing tegakkan untuk mengetahui populasi maksimum, dan potensi bakteri pelarut fosfat. Pengambilan sampel tanah sesuai dengan 8 arah mata angin. Kedalaman pengambilan sampel disesuaikan dengan jenis tanaman.

Sampel tanah dikompositkan tiap plot pengamatan dan diambil tepat pada jarak 50-100 cm dari titik tengah tautan tetes tajuk terluar dari masing-masing tanaman selanjutnya sampel dipisahkan menjadi 2 yaitu untuk indikator kimia dan sampel untuk indikator dimasukkan kedalam plastik dan dimasukkan kedalam cooling box untuk menghindari penguapan.

4. *Pengamatan Serasah*

Pengamatan serasah bertujuan untuk mengetahui pengaruh biomassa serasah terhadap kandungan C-organik tanah. pengamatan serasah menggunakan frame berukuran 50 cm x 50 cm dalam satu plot diambil 5 ulangan dengan pengamatan 10 frame. Parameter yang diamati meliputi ketebalan serasah 10 titik pada tiap frame serta berat kering serasah.

Serasah yang didapat ditimbang total berat basah pada tiap frame kemudian di pisahkan berdasarkan jenisnya yang meliputi serasah kasar (tertinggal di ayakan 5 mm), serasah halus (lolos ayakan antara 5 dan 2 mm), daun, ranting, *understorey* dan dioven selama 48 jam dengan suhu 75 ° C. (Hairiah, *et al.*, 2011). Setelah itu, serasah ditimbang berat kering dan dicatat hasilnya. Data yang telah diperoleh kemudian dihitung estimasi BK serasah per frame. (Lampiran 4). Berikut merupakan denah pengambilan sampel tanah dan serasah, untuk detail plot pengamatan terdapat pada lampiran 3.



Gambar 6. Metode Pengambilan Sampel Tanah dan Pengamatan Serasah

5. Isolasi Bakteri Pelarut Fosfat

Isolasi bakteri menggunakan metode pengenceran (*Plating Method*). Sebanyak 10 gram dari setiap sampel tanah dilakukan pengenceran hingga faktor pengenceran 10^{-1} - 10^{-7} . Kultur bakteri dilakukan dengan metode disebarkan pada media selektif Pikovskaya pada faktor pengenceran 10^{-6} dan 10^{-7} . Koloni yang membentuk zona bening kemudian dimurnikan dengan cara *streak for single colony* pada media Pikovskaya (Saraswati *et al.*, 2007).

6. *Populasi Bakteri Pelarut Fosfat*

Kepadatan populasi BPF di dalam tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor. Perhitungan populasi BPF pada penelitian ini dilakukan secara tidak langsung yaitu dengan menghitung koloni dari pertumbuhan setiap sel BPF pada media selektif Pikovskaya (*plate count*). Setiap koloni bakteri pelarut fosfat (BPF) yang tumbuh pada media selektif diasumsikan berasal dari satu sel, sehingga populasi sel g^{-1} atau satu sel ml^{-1} . (Saraswati *et al.*, 2007) Berikut merupakan perhitungan populasi BPF:

$$\text{Populasi BPF} = \frac{C \times fp}{bk}$$

Keterangan:

C = jumlah koloni

fp = faktor pengenceran

Bk = berat kering tanah

7. *Uji Potensi Pelarutan P*

Isolat bakteri yang telah diperoleh kemudian di uji potensi pelarutan P menggunakan media Pikovskaya. Media ini dengan komposisi 10 g/L glukosa, 5 g/L $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_5$, 0,5 g/L $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0,2 g/L KCl, 0,1 g/L $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,002 g/L $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 0,2 g/L NaCl 0,5 g/L yeast ekstrak dan 0,002 g/L $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ pada pH 7,0, 20 g/L agar. Pengukuran yang dilakukan berupa rasio zona bening dengan membandingkan diameter zona bening dan diameter koloni setelah dinkubasi selama 3-5 hari pada temperatur ruang. (Saraswati *et al.*, 2007)

8. *Uji Pathogenitas*

Uji Pathogenitas dilakukan untuk memastikan BPF tidak bersifat pathogen. Uji patogenitas dilakukan dengan cara mengamati (membandingkan) secara visual pada tanaman yang diinokulasi BPF pathogen akan memperlihatkan pertumbuhan yang tidak normal (sakit). Penelitian ini menggunakan tanaman tembakau yang bersifat hipersensitif sebagai objek pengujian dengan cara menyuntikkan suspensi Isolat bakteri yang telah di encerkan 10^7 pada jaringan tembakau yang berumur sedang. (Schaad *et al.*, 2001).

3.5 Analisis Data

Percobaan ini dilakukan dengan metode Rancangan Acak Pola Tersarang dengan 5 perlakuan dan 3 kali ulangan sehingga didapatkan 15 kombinasi perlakuan. Data ditabulasi menggunakan MS. Excel. Data dianalisis keragamannya (ANOVA). Kemudian jika hasil berbeda nyata dilakukan uji Beda Nyata Terkecil taraf 5% . Data diolah menggunakan aplikasi *Genstat*. Uji korelasi dilakukan menggunakan untuk mengetahui hubungan antar parameter.



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Lingkungan di UB Forest

UB Forest memiliki berbagai macam penggunaan lahan dengan kondisi lingkungan yang berbeda-beda. Kondisi lingkungan berpengaruh terhadap sifat fisika dan kimia tanah serta biota tanah. karakteristik lingkungan yang di amati tersaji sebagai berikut :

4.1.1 Kerapatan Tajuk

Kerapatan tajuk diperoleh dari proyeksi tajuk tumbuhan dan dinyatakan dalam bentuk persen (%). Untuk mengukur persentase tutupan tajuk pohon pada suatu luasan dapat dilakukan menggunakan metode pixel dengan kamera digital. Persentase tutupan lahan oleh tautan tajuk pohon dalam sistem diproyeksikan dalam pixel gelap terang dan dihitung per total pixel gambar yang diperoleh. Pengambilan gambar sebanyak 10 titik pada tiap penggunaan lahan. Berdasarkan analisa keragaman diperoleh hasil yang tersaji dalam tabel berikut :

Tabel 3. Persentase Kerapatan Tajuk pada berbagai Penggunaan Lahan

No	Perlakuan	Rerata Kerapatan Tajuk (%)
1	KL	87,09 c
2	PK	66,44 b
3	PS	48,23 a
4	MK	88,50 c
5	MS	86,08 c
BNT 5% *		16, 29

Keterangan : Bilangan diikuti dengan huruf berbeda memiliki hasil berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%; * = nyata. (KL : Kawasan Lindung; PK : Pinus Kopi; PS : Pinus Semusim; MK : Mahoni Kopi; MS : Mahoni Semusim).

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa terdapat penggunaan lahan berpengaruh nyata terhadap kerapatan tajuk. Uji beda nyata terkecil (BNT) menunjukkan hasil berbeda nyata. Rata-rata kerapatan tajuk tertinggi berada pada plot Mahoni Kopi (MK) 88,50 % , Kawasan Lindung (KL) 87,09 % dan Mahoni Semusim (MS) 86,08 %. (Tabel 3). Mahoni Kopi memiliki kerapatan tajuk yang paling tinggi dikarenakan memiliki jenis tanaman yang beragam dan memiliki cabang serta daun yang lebar. Pada plot Pinus Semusim memiliki kerapatan tajuk terendah dikarenakan jenis tanaman yang sedikit dan bentuk daun pinus yang seperti jarum dan memiliki luas permukaan yang kecil sehingga persentase tajuknya rendah.

Kerapatan tajuk akan mempengaruhi serasah dan berkaitan erat dengan input bahan organik tanah. Sesuai dengan pernyataan Muardimansah (2016), C-organik tanah dipengaruhi oleh kerapatan tajuk dan kedalaman tanah, daerah yang memiliki kerapatan tajuk tinggi memiliki karbon organik lebih tinggi di bandingkan daerah yang memiliki tajuk sedang dan jarang.

4.1.2 Biomassa Serasah

Serasah merupakan bagian tumbuhan yang telah mati dan gugur ke tanah seperti daun, cabang, ranting, bunga, buah, kulit kayu serta bagian lain yang melapisi dan menyebar permukaan tanah dibawah hutan yang belum mengalami proses dekomposisi (Departemen Kehutanan, 1997: Dita, 2007). Pengukuran ketebalan serasah dan pengambilan sampel serasah dan *understorey* dilakukan menggunakan frame serasah secara acak dengan 5 ulangan. Serasah dan *understorey* yang diperoleh dipisahkan berdasarkan jenisnya yaitu *understorey*, daun, ranting, serasah kasar dan serasah halus. Data yang diperoleh kemudian dianalisa keragamannya diperoleh hasil yang tersaji dalam tabel berikut :

Tabel 4. Rerata Berat Kering Serasah pada Berbagai Penggunaan Lahan

No	Perlakuan	Rerata Berat Kering Serasah (ton/ha)
1	KL	7,83 c
2	PK	2,51 ab
3	PS	0,37 a
4	MK	4,62 b
5	MS	2,39 ab
BNT 5% *		2,44

Keterangan : Bilangan yang diikuti dengan huruf berbeda memiliki hasil berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%; * = nyata. (KL : Kawasan Lindung; PK : Pinus Kopi; PS : Pinus Semusim; MK : Mahoni Kopi; MS : Mahoni Semusim).

Pada tabel 4, hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa penggunaan lahan berpengaruh nyata terhadap berat serasah. Hasil uji beda nyata terkecil (BNT) taraf 5% menunjukkan hasil yang berbeda nyata. Rata-rata berat serasah tertinggi sebesar 7,83 ton/ha pada dengan perlakuan Kawasan Lindung (KL) diikuti dengan Mahoni Semusim (MK) 4,62 ton/ha, Pinus Kopi (PK) 2,51 ton/ha, Mahoni Semusim (MS) 2,39 ton/ha, dan rata-rata berat serasah terendah 0,37 ton/ha pada perlakuan Pinus Semusim (PS). Pengukuran ketebalan serasah dilakukan sebanyak 10 titik pada tiap frame. Berikut merupakan data ketebalan serasah pada berbagai penggunaan lahan di UB Forest yang tersaji pada tabel 5.

Tabel 5. Rerata ketebalan serasah pada berbagai penggunaan lahan (cm)

No	Perlakuan	Rerata Ketebalan Serasah (cm)
1	KL	1,68 b
2	PK	0,97 b
3	PS	0,10 a
4	MK	1,33 b
5	MS	1,36 b
BNT 5%	*	1,37

Keterangan : Bilangan yang diikuti dengan huruf berbeda memiliki hasil berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%; * = nyata. (KL : Kawasan Lindung; PK : Pinus Kopi; PS : Pinus Semusim (wortel MK : Mahoni Kopi; MS : Mahoni Semusim).

Pada tabel 5, hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa penggunaan lahan berpengaruh nyata terhadap ketebalan serasah. Hasil uji beda nyata terkecil (BNT) taraf 5% menunjukkan hasil yang berbeda nyata. Rata-rata ketebalan serasah tertinggi terletak pada perlakuan Kawasan Lindung (KL), Pinus Kopi (PK), Mahoni Kopi (MK), Mahoni Semusim (MS). Ketebalan serasah terendah berada pada perlakuan Pinus Semusim (PS). Kawasan lindung memiliki berat serasah dan ketebalan tertinggi dikarenakan memiliki beragam vegetasi seperti Kaliandra, Mahoni, Kirinyuh, Pisang, Bambu, Sirih hutan, rerumputan dan lain sebagainya. Jenis vegetasi yang beragam akan meningkatkan produksi serasah di lahan. Sejalan dengan pendapat Indrayanto (2009) bahwa hutan memiliki jumlah dan komposisi yang berbeda berdasarkan keanekaragaman jenis tanaman. Pengolahan lahan yang intensif, seperti pengaturan tanaman, penyiangan, pemakaian pestisida, dan sebagainya mengakibatkan serasah yang dihasilkan sedikit. Hal ini diperkuat oleh pernyataan Salim dan Budiadi (2014), lahan yang dimanfaatkan untuk tanaman semusim memiliki produksi yang rendah karena kepadatan tanaman tidak didominasi oleh tanaman tahunan. Serasah merupakan salah satu indikator kesuburan tanah. Serasah yang jatuh menutupi permukaan tanah akan terdekomposisi oleh makrofauna dan mikrofauna pengurai sehingga menambah input bahan organik dalam tanah. Makrofauna tanah dapat mengubah serasah menjadi bagian yang lebih kecil dan meningkatkan luas permukaan dan mampu memodifikasi substrat untuk kolonisasi bakteri (Parkinson, 1998: Musyafa 2005).

4.1.3 Suhu dan Kelembaban

Suhu merupakan salah satu sifat tanah yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman, kelembaban, aerasi, struktur dan aktivitas mikroba, dekomposisi serasah dan ketersediaan hara-hara tanaman. Aktivitas mikroba dipengaruhi oleh temperatur (suhu). Setiap mikroba memiliki temperatur optimum yang spesifik sehingga perbedaan temperatur berpengaruh terhadap jenis dan populasi mikroba (Hanafiah, 2014). Pengambilan suhu tanah dilakukan pada kedalaman Pengamatan suhu tanah dilakukan pada berbagai kedalaman tanah yaitu pada kedalaman 0, 5, 10, 20, 30 cm pada setiap plot. Pengamatan suhu dan kelembaban dilakukan pada keadaan suhu dan kelembaban minimum dan maksimum yang bertujuan untuk mengetahui range suhu dan kelembaban pada setiap plot. Berdasarkan hasil pengamatan diperoleh hasil sebagai berikut :

Hasil analisis keragaman penggunaan lahan berpengaruh yang terhadap kelembaban. Hasil uji beda nyata terkecil taraf 5 % memiliki hasil yang berbeda nyata pada tiap perlakuan. Rata-rata suhu tanah tertinggi yaitu 20.27 °C pada perlakuan MK (Mahoni Kopi) dan terendah yaitu 18.32 pada Pinus Kopi. Sedangkan hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa terdapat pengaruh yang terhadap kelembaban tanah (Tabel 6). Hasil uji beda nyata terkecil (BNT) memiliki pengaruh yang berbeda nyata. Rata-rata kelembaban tanah tertinggi yaitu 46.33 pada perlakuan KL (Kawasan Lindung) dan terendah yaitu 30 pada perlakuan MK (Mahoni Kopi). Suhu yang rendah dengan kelembaban yang tinggi dibandingkan keempat plot dikarenakan dipengaruhi oleh tajuk sehingga lahan menjadi ternaungi, intensitas cahaya matahari yang masuk rendah dan kelembaban akan terjaga. Sejalan dengan pendapat Mulyoutami *et al.* (2004), bahwa tanaman pelindung/naungan mempunyai fungsi konservasi salah satunya adalah menjaga suhu dan kelembaban di sekitar kebun, lapisan tajuk dan serasah dapat mengurangi intensitas cahaya matahari sehingga kelembaban terjaga dan menjaga kelembaban karena ketersediaan air tanah tercukupi. Sedangkan pada plot Mahoni Kopi (MK) memiliki suhu yang tinggi karena pada lahan tersebut memiliki komposisi tanaman yang lebih sedikit dibandingkan Kawasan Lindung sehingga cahaya matahari mudah masuk ke lahan sehingga menyebabkan kelembaban rendah. Perbedaan ketinggian tempat juga mempengaruhi besarnya

nilai suhu dan kelembaban pada suatu lahan. Kawasan Lindung memiliki Rata-rata ketinggian tempat 1260 mdpl sedangkan pada Mahoni Kopi (MK) memiliki ketinggian tempat 1060 mdpl. Sesuai dengan pernyataan Tarmedi (2006) dalam Sinaga *et al* (2015) bahwa , semakin meningkat ketinggian suatu wilayah maka kelembaban tinggi dan suhu semakin rendah begitu juga sebaliknya semakin rendah suatu wilayah atau tempat maka kelembaban akan rendah dan suhu semakin tinggi. Suhu dapat mempengaruhi aktivitas mikroba. Hasil menunjukkan bahwa suhu tanah di berbagai penggunaan lahan di UB Forest termasuk dalam kategori ideal bagi mikroba tanah. Aktivitas mikroba akan terhambat pada suhu 10 °C. Laju optimum biota tanah berada pada kisaran suhu 18-30°C. (Hanafiah, 2014).

Tabel 6. Rerata Suhu dan Kelembaban pada berbagai penggunaan lahan

No	Perlakuan	Rerata Suhu Tanah (°C)	Kelembaban (RH)
1	KL	18,62 a	46,33 b
2	PK	18,32 a	44,67 b
3	PS	20,80 ab	43,08 b
4	MK	21,48 b	30,00 a
5	MS	20,27 ab	43,00 b
BNT 5%	*	2,57	9,19

Keterangan : Bilangan yang diikuti dengan huruf berbeda memiliki hasil berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%; * = nyata. (KL : Kawasan Lindung; PK : Pinus Kopi; PS : Pinus Semusim(wortel MK : Mahoni Kopi; MS : Mahoni Semusim).

4.2 Sifat Kimia Tanah di UB Forest

Analisis kimia tanah berguna untuk mengetahui hubungan sifat kimia tanah terhadap populasi bakteri pelarut fosfat di berbagai penggunaan lahan di UB Forest. Data analisa kimia tanah yang tersaji pada Tabel 7.

Tabel 7. Analisa Kimia Tanah di berbagai Penggunaan Lahan

No	Perlakuan	pH	*	C-Organik (%)	*	P- tersedia (ppm)	*	P total (mg/100g)	*
1	KL	5,51 b	Am	8,32 b	St	2,4 ab	Sr	30,20 b	S
2	PK	4,75 a	M	4,27 a	T	3,2 b	Sr	29,89 b	S
3	PS	5,45 b	Am	4,79 a	T	3,2 b	Sr	16,72 a	R
4	MK	5,72 b	Am	6,79 ab	St	2,3 ab	Sr	17,69 a	R
5	MS	6,41 c	Am	4,16 a	T	1,1 a	Sr	10,60 a	Sr
BNT 5%	*	0,39		3,11		0,58		0,52	

Keterangan : Bilangan yang diikuti dengan huruf berbeda memiliki hasil berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%; * = nyata. (KL : Kawasan Lindung; PK : Pinus Kopi; PS : Pinus Semusim (MK : Mahoni Kopi; MS : Mahoni Semusim). * : Kriteria (Am : agak masam; M : masam; Sr : sangat rendah; R : rendah; T : tinggi; St : sangat tinggi).(Petunjuk Teknis Analisa Kimia Tanah, Tanaman dan Air Balittanah, 2009)

4.2.1 pH

Nilai pH menunjukkan konsentrasi ion H^+ dalam tanah. Apabila semakin besar kadar ion H^+ maka tanah semakin masam. Hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa penggunaan lahan berpengaruh nyata terhadap pH (tabel 7). Hasil uji beda nyata terkecil (BNT) menunjukkan bahwa rata-rata pH tertinggi 6,413 pada penggunaan lahan Mahoni Semusim dan terendah 4,75 pada penggunaan lahan Pinus Kopi .

Reaksi pH pada berbagai tutupan lahan di UB Forest memiliki kriteria agak masam sampai dengan masam (Lampiran 8). Hal tersebut dikarenakan pengaruh serasah yang belum terdekomposisi dengan sempurna. Sesuai dengan pendapat Sudarsono (2003) dalam Afandi *et al.*, (2015) bahwa bahan pemberian bahan organik yang belum matang dapat memperlambat kenaikan pH tanah karena bahan organik belum terdekomposisi masih mengeluarkan asam organik. pH terendah berada di Pinus Kopi dikarenakan pengolahan tanah yang terlalu intensif seperti pemupukan, penggunaan pestisida sehingga tanah menjadi masam. Berdasarkan hasil wawancara dengan petani di plot tersebut, petani cenderung melakukan pemupukan menggunakan pupuk anorganik seperti Phonska, ZA dan SP36 secara terus-menerus. Petani memilih menggunakan pupuk anorganik dianggap rumit dan tidak menyuburkan tanah. Dosis pupuk yang diberikan pada lahan tersebut tidak menggunakan takaran yang sesuai dengan kebutuhan tanaman. Diduga dengan pemberian pupuk anorganik secara terus menerus dan tidak sesuai dosis dapat memicu penurunan pH tanah. Hal ini sesuai dengan pendapat Hairiah *et al.* (2000), bahwa penyebab tanah masam adalah pengolahan lahan yang intensif seperti pemupukan anorganik dengan dosis yang berlebihan dan dilakukan secara terus menerus dapat memacu proses pemasaman tanah.

4.2.2 C-Organik

Hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa penggunaan lahan berpengaruh nyata terhadap kadar C-organik. Hasil uji beda nyata terkecil (BNT) taraf 5 % menunjukkan bahwa rata-rata kadar C-organik tertinggi sebesar 8.32 % berada pada penggunaan lahan Kawasan Lindung dan terendah sebesar 4.16 % pada sistem penggunaan lahan Mahoni Semusim (Tabel 7). Rata-rata Kadar C-organik pada UB forest cenderung tinggi hingga sangat tinggi (kriteria terlampir

pada Lampiran 8). Hal tersebut dikarenakan lahan di UB forest memiliki tutupan lahan yang tinggi didominasi oleh tanaman tahunan seperti Pinus, Mahoni dan Kopi. Tanaman tersebut akan menghasilkan serasah yang tinggi dan akan terdekomposisi menjadi bahan organik tanah. Menurut Pendapat Bargett (2008), bahan organik merupakan pakan bagi mikroba untuk melakukan aktivitasnya. Bahan organik tanah memiliki peranan mendukung stabilitas tanah, pencegah erosi dan partikel yang penting bagi biota tanah dan lain sebagainya. Menurut Oksana et al. (2012), C-organik pada hutan cenderung tinggi dikarenakan pada tanah hutan memiliki serasah dan sisa tanaman yang menumpuk di tanah. Serasah tersebut akan terdekomposisi oleh makroorganisme dan mikroorganisme menjadi bahan organik tanah.

4.2.3 P Total

P total tanah merupakan unsur hara esensial bagi tanaman. Menurut pendapat Illmer dan Schimer (1992) dalam Gupta et al. (2012) fosfor merupakan nutrisi makro esensial yang berfungsi untuk membantu pertumbuhan dan perkembangan tanaman dan memiliki pengaruh penting dalam proses metabolisme seperti fotosintesis, oksidasi secara alami, penyerapan nutrisi serta pembelahan sel. Sedangkan menurut pendapat Hardjowigeno (2007), P pada tanaman berfungsi mempercepat pematangan, memperkuat batang agar tidak mudah roboh, pembentukan sel, pembentukan albumin, pembentukan bunga, buah dan biji, perkembangan akar dan lain sebagainya.

Hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa penggunaan lahan berpengaruh terhadap Kadar P-Total (Tabel 7). Hasil Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) taraf 5% menunjukkan bahwa rata-rata tertinggi berada pada Kawasan Lindung (KL) mencapai 30,2 mg/100g dan terendah pada Mahoni Semusim sebesar 10,6 mg/100g (kriteria terlampir pada Lampiran 8). Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi nilai P total yang ada di lahan seperti bahan induk, bahan organik, jenis tanah, temperatur dan lain sebagainya. Ketersediaan P-organik dipengaruhi oleh aktivitas mikroba tanah dengan cara mineralisasi P organik di tanah dan melarutkan P. (Chen *et al.*, 2006). Kecepatan mineralisasi P berkorelasi dengan banyaknya substrat fosfat. Semakin tinggi jumlah fosfat

organik maka proses mineralisasi akan semakin aktif (Alexander, 1997: Saraswati dan Ginting, 2006).

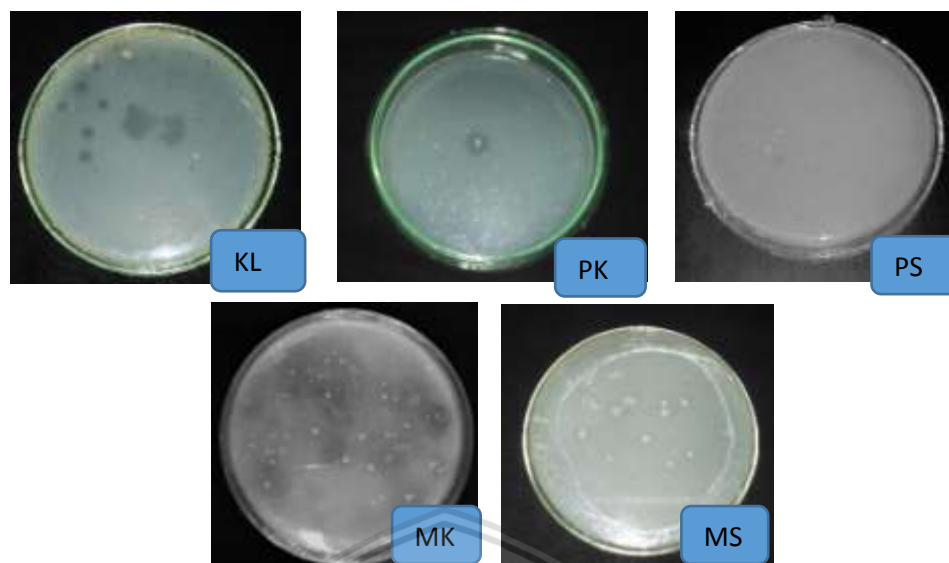
4.2.4 P tersedia

P-total dalam tanah, yang dapat larut hanya 1-5%, sisanya tidak tersedia karena terjadinya fiksasi pada tanah (Molla dan Clowdary, 1984 : Panda et al. 2016). Hasil analisa P tersedia menunjukkan bahwa penggunaan lahan berpengaruh nyata terhadap P tersedia (Tabel 7). Hasil Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) dengan taraf 5% menunjukkan hasil berbeda nyata. Rata-rata tertinggi berada pada Pinus Semusim (PS) mencapai 3,26 ppm dan terendah pada Mahoni Semusim (MS) yaitu 1,07 ppm (Tabel 7). Kadar P-tersedia di keseluruhan plot termasuk kriteria sangat rendah (Lampiran 8).

P-tersedia di UB Forest cenderung sangat rendah dikarenakan fiksasi P akibat pH tanah pada masing-masing plot kriteria agak masam (Lampiran 8). Sejalan pendapat Hardjowigeno 2007, bahwa pH agak masam memiliki konsentrasi Fe dan Al hidroksida pada larutan tanah. Al dan Fe tersebut akan membentuk ikatan Al-P dan Fe-P sehingga P menjadi tidak tersedia bagi tanaman. P jika terfiksasi dengan Fe membentuk *stringit* $\text{Fe}(\text{OH})_2 \text{H}_2 \text{PO}_4^-$. Sedangkan P jika terfiksasi dengan Al membentuk *varasit* $\text{Al}(\text{OH})_2 \text{H}_2 \text{PO}_4^-$.

4.3 Diversitas Bakteri Pelarut Fosfat

Penelitian di UB Forest dilakukan berbagai pengamatan dari indikator Lingkungan dan biologi tanah yang berkaitan dengan Bakteri pelarut fosfat. Pada pengamatan indikator Biologi tanah, Bakteri pelarut fosfat disolasi dari tanah di UB Forest pada berbagai penggunaan lahan. Terdapat 5 tutupan lahan yang digunakan sebagai plot pengamatan yaitu Kawasan Lindung (KL), Pinus Kopi (PK), Pinus Semusim (PS), Mahoni Kopi (MK), dan Mahoni Semusim (MS). plot pengamatan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali dengan total 15 perlakuan. Sampel tanah diambil di sekitar perakaran (rhizosfer) di berbagai penggunaan lahan.



Gambar 7. Bakteri Pelarut Fosfat hasil isolasi pada berbagai Penggunaan Lahan (Ket : KL : Kawasan Lindung; PK : Pinus Kopi; PS : Pinus Semusim; MK : Mahoni Kopi; MS : Mahoni Semusim)

Isolasi bakteri pelarut fosfat dilakukan dengan menggunakan media Pikovskaya padat dengan pengenceran $10^6 - 10^7$ dan diulang sebanyak dua kali (duplo) pada setiap seri pengenceran. Bakteri yang berhasil diisolasi kemudian di hitung populasinya menggunakan metode perhitungan cawan dan dihitung keragamannya. Koloni bakteri yang memiliki bentuk yang berbeda dan luas zona bening yang luas dan lebar dimurnikan untuk memperoleh isolat bakteri. Isolat bakteri yang diperoleh kemudian dilakukan pengamatan karakteristik berdasarkan ukuran, bentuk, tepian, warna serta potensi bakteri dalam melarutkan fosfat.

4.3.1 Populasi Bakteri Pelarut Fosfat

Bakteri yang berhasil diisolasi kemudian dilakukan perhitungan populasi bakteri. Perhitungan populasi bakteri dilakukan menggunakan metode cawan pada media pikovskaya Kemudian, di hitung populasi koloni bakteri pelarut fosfat. Berikut merupakan Rerata bakteri pelarut fosfat yang berhasil di Isolasi pada berbagai penggunaan lahan di UB Forest pada pengenceran 10^7 . Bertikut merupakan rerata populasi koloni bakteri pelarut fosfat pada berbagai penggunaan lahan di UB Forest (Tabel 8).

Tabel 8. Rerata Populasi Koloni Bakteri pada Berbagai Penggunaan Lahan

No	Penggunaan Lahan	Total Koloni Bakteri Pelarut Fosfat ($\times 10^6$ cfu/ml)
1.	KL	103 $\times 10^6$ c
2.	PK	51,7 $\times 10^6$ b
3.	PS	7,00 $\times 10^6$ a
4.	MK	60,2 $\times 10^6$ b
5.	MS	55,3 $\times 10^6$ b
BNT 5% *		3,44

Keterangan : Bilangan yang diikuti dengan huruf berbeda memiliki hasil yang berbeda nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%; * = nyata. (KL : Kawasan Lindung; PK : Pinus Kopi; PS : Pinus Semusim; MK : Mahoni Semusim; MS : Mahoni Semusim).

Hasil analisa keragaman menunjukkan bahwa perbedaan penggunaan lahan berpengaruh nyata terhadap populasi bakteri pelarut fosfat. Hasil uji beda nyata terkecil (BNT) taraf 5% menunjukkan hasil yang berbeda nyata antar perlakuan. Rata-rata populasi bakteri tertinggi pada Kawasan Lindung (KL) yaitu 103×10^6 cfu/ml diikuti dengan Mahoni Kopi (MK) $60,2 \times 10^6$ cfu/ml, Mahoni Semusim (MS) $55,3 \times 10^6$ cfu/ml, Pinus Kopi (PK) $51,7 \times 10^6$ cfu/ml sedangkan populasi terendah berada pada Pinus Semusim (PS) sebesar 7×10^5 cfu/ml. (Tabel 8). Total populasi bakteri yang berada pada berbagai penggunaan lahan di UB Forest termasuk kriteria yang sesuai standar mutu Pementan No. 70 tahun 2011 (Lampiran 9).

Bakteri pelarut fosfat (BPF) merupakan salah satu bakteri yang potensial dalam dunia penelitian dan pertanian. (Pradhan dan Sukla, 2005). Total Populasi bakteri pelarut fosfat pada suatu lahan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan yang sesuai dan ketersediaan makanan yang cukup. Faktor lingkungan yang mempengaruhi keanekaragaman bakteri diantaranya kondisi tutupan lahan, suhu, pH dan konsentrasi oksigen (Sugiyarto *et al.*, 2007) Hal ini sejalan dengan pendapat Hanafiah (2014), Populasi yang tinggi menggambarkan adanya suplai makanan atau energi ditambah dengan temperatur yang cukup, ketersediaan air yang cukup dan kondisi ekologi yang mendukung.

Pada Kawasan Lindung memiliki populasi yang terbesar dikarenakan pada plot tersebut memiliki tutupan lahan yang tinggi dengan beraneka jenis tanaman. Hal tersebut diperkuat dengan tingginya kadar C-organik sebesar 8.33 % dan P - total sebesar 30,2 (mg/100g). Mahoni Kopi memiliki total populasi bakteri terbesar kedua setelah Kawasan Lindung dikarenakan pada plot tersebut memiliki pasokan makanan yang cukup bagi bakteri pelarut fosfat yaitu dengan kadar C-

organik sebesar 6.7% dan P-total sebesar 17,69 (mg/100), Menurut Sugiyatro *et al* (2007) pendapat faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya jumlah mikrofauna diantaranya sumber substrat yang cukup dan kondisi lingkungan yang sesuai.

Pada Mahoni Semusim (MK) dengan tanaman semusim talas memiliki total bakteri terbesar ketiga dibandingkan Pinus Kopi (PK) dan Pinus Semusim (PS). Meskipun memiliki kadar C-organik yang rendah yaitu 4.16 % dan P total 10,6 mg/100g), akan tetapi menurut Yafizham (2003), bakteri pelarut fosfat dapat mendominasi rhizosfer meskipun kadar P tanah rendah. Menurut pendapat (Alexander, 1977: Niswati *et al.*, 2008) bakteri pelarut fosfat berada dan mengkolonisasi daerah rhizosfer. Sejalan dengan pendapat Niswati *et al.* (2008), bahwa setiap tanaman melakukan proses metabolisme tertinggi pada daerah rhizosfer. Metabolit tersebut dilepaskan oleh tanaman melalui akar yang disebut dengan eksudat. Eksudat berinteraksi dengan bakteri dan dimanfaatkan bakteri untuk kelangsungan hidupnya (Purwaningsih, 2003).

Populasi bakteri pada Pinus Kopi (PK) dan Pinus Semusim (PS) termasuk rendah dikarenakan memiliki kadar C-organik yang lebih rendah dibandingkan plot Kawasan Lindung dan Mahoni Kopi. Meskipun ketersediaan P – Total tinggi akan tetapi terdapat beberapa faktor yang menyebabkan P tidak tersedia pada tanah. pH tanah pada Pinus Kopi dan Pinus Semusim cenderung agak masam dan masam menyebabkan P – tersedia menjadi rendah karena terikat oleh kation tanah Al dan Fe menjadi senyawa Al-P dan Fe-P dan *Occluded-P* (Elfianti, 2005).

Pengaruh zat alelopati pada pinus juga dapat mempengaruhi populasi bakteri dikarenakan tidak semua bakteri menyukai kondisi tersebut. *Pinus merkusii* memiliki zat resin yang dapat menghasilkan zat metabolit sekunder yang bersifat alelopati. Termasuk dalam golongan senyawa terpenoid, yaitu monoterpen α - pinene dan β -pinene (Taiz and Zeiger, 1991). Hal ini sesuai dengan pernyataan Rice, (1964) dalam Junaedi *et al.*, 2006 bahwa alelopati adalah keadaan merugikan yang dialami tumbuhan akibat tumbuhan lain, termasuk mikroorganisme, oleh sifat kimia yang dilepaskan di lingkungan.

4.3.2 Karakterisasi Bakteri Pelarut Fosfat

Bakteri yang berhasil diisolasi dari kemudian isolat dikarakterisasi untuk mengetahui total isolat berbagai penggunaan lahan di UB Forest. Berikut merupakan hasil karakterisasi total isolat pada berbagai penggunaan lahan di UB Forest yang tersaji dalam tabel 9.




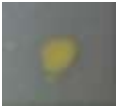
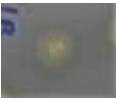




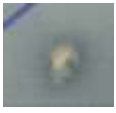

Tabel 9. Total Isolat yang ditemukan pada Berbagai Penggunaan Lahan di UB Forest

No	Perlakuan	Jumlah Isolat
1	KL	9
2	PK	8
3	PS	5
4	MK	9
5	MS	6
Total		37

Berdasarkan hasil Karakterisasi diperoleh total sebanyak 37 isolat (Tabel 9). Jumlah isolat tertinggi berada pada plot Kawasan Lindung dan Mahoni Kopi pada sebanyak 9 isolat sedangkan jumlah isolat terendah berada pada plot Pinus Semusim berjumlah 5 isolat. Keragaman bakteri pelarut fosfat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti sifat biologisnya. Bakteri bisa bertahan hidup pada kondisi masam, netral maupun basa. Bakteri ada yang bersifat aerob maupun anaerob serta ada yang bersifat termofilik, mesofilik, dan hipofilik. Selain itu, perbedaan kondisi lingkungan serta substrat yang berbeda-beda dapat mempengaruhi efektivitas bakteri dalam melarutkan fosfat (Saraswari *et al*, 2006).

Isolat bakteri yang telah didapat kemudian diamati indeks zona bening pada masing-masing isolat. Isolat yang memiliki kemampuan melarutkan fosfat paling tinggi dilakukan karakterisasi secara morfologis untuk selanjutnya dilakukan uji kemampuannya menghasilkan zona bening. Karakterisasi secara morfologi meliputi ukuran, pigmentasi (warna), bentuk koloni, tepian, dan elevasi (Leboffe dan Pierce, 2012).

Tabel 10. Karakterisasi Isolat Bakteri Pelarut Fosfat di berbagai penggunaan lahan.

No	Isolat	Karakterisasi					Kenampakan isolat
		Warna	Ukuran (mm)	Bentuk Koloni	Tepian	Elevasi	
1	KL1A	Putih kekuningan	3	Irreguler	Lobate	Datar	
2	KL1B	Putih kekuningan	3	Irreguler	Bergelombang	Raised	
3	PK1A	Kuning	4	Round	Entire	Cembung	
4	PS1A	Kuning	4	Bulat bertepi	Entire	Rasied	
5	PS1B	Putih kekuningan	6	Irreguler	Filamentous	Umbolate	
6	PS1C	Putih	3	Bulat bertepi	Entire	Nyata	
7	MK1A	Putih	4	Irreguler	Lobate	Datar	
8	MK3A	Putih	4.5	Irreguler	Lobate	Datar	
9	MK3A	Putih	3	Irreguler	Irreguler	Raised	
10	MK3B	Putih kekuningan	5	Rhizoid	Irreguler	Datar	
11	MS2A	Putih kekuningan	7.5	Rhizoid	Lobate	Cembung	

4.3.4 Potensi Bakteri Melarutkan Fosfat

Bakteri yang mampu melarutkan fosfat ditandai dengan munculnya zona bening di sekitar koloni bakteri. Isolat yang memiliki zona bening paling lebar dan paling jernih di seleksi dan dilakukan pemurnian menggunakan jarum ose steril dan di goreskan pada media pikovskaya padat dengan metode 4 kuadran. Bakteri tumbuh kemudian diambil menggunakan menggunakan mikro pipet dan di pindahkan di media pikovskaya padat untuk diamati rasio zona dan luas zona beningnya. Berdasarkan hasil pengamatan diperoleh 11 isolat yang memiliki zona bening. Berikut merupakan data Indeks Zona Bening Bakteri Pelarut Fosfat di berbagai macam penggunaan lahan di UB Forest :

Tabel 11. Luas dan Rasio Zona Bening Bakteri Pelarut Fosfat di berbagai Penggunaan Lahan

No	Kode Isolat	Diameter Zona Bening (mm)	Diameter Koloni (mm)	Indeks Zona Bening
1	KL1A	6	3	2,00
2	KL2A	4	3	1,33
3	PK1A	4.5	4	1,13
4	PS1A	4.5	4	1,13
5	PS1B	7.5	6	1,25
6	PS3C	6	3	2,00
7	MK1A	5	3	1,67
8	MK3B	7	5	1,40
9	MK3A	8	4.5	1,78
10	MS2A	11.00	7.5	1,47
11	MS3A	6	4	1,50

Terdapat 3 isolat yang potensial yang memiliki luas dan rasio zona bening paling tinggi dengan kode isolat PS3C dan KL1A, 2,00 dan 1,78 dengan kode isolat MK3A dengan system penggunaan lahan mahoni kopi (Tabel 11). Bakteri Pelarut Fosfat merupakan bakteri yang memiliki kemampuan dalam melarutkan unsur P yang belum tersedia oleh tanaman menjadi tersedia oleh tanaman. BPF banyak ditemukan pada daerah rhizosfer sebesar 10^4 - 10^6 (Elfianti, 2005). Menurut pendapat Maryanti (2006) dalam Ilham *et al.*, (2014), pelarutan P ditandai dengan munculnya zona bening pada sekitar koloni bakteri serta ukuran koloni bakteri bertambah dengan adanya zona bening tersebut. Bakteri pelarut fosfat mengubah fosfat menjadi PO_4 menggunakan enzim fosfatase, sehingga terbentuk zona bening di sekitar koloni (George *et al.*, 2002). Bila dibandingkan dengan

penelitian Widiawati dan Sulasih (2010) mengenai kompos yang diperkaya bakteri penambat nitrogen dan pelarut fosfat hal ini sesuai dikarenakan diperoleh terdapat 34 isolat dengan indeks zona bening tertinggi sebesar 2,5 dengan jenis bakteri *Bacillus* sp.

Luas zona bening di sekitar koloni menunjukkan kemampuan bakteri dalam melarutkan P secara kualitatif tergantung dari sifat genetik mikroba dalam menghasilkan asam organik (Chen *et al.*, 2006;). Aktivitas bakteri melarutkan fosfat dengan cara melepaskan asam-asam organik diantaranya asam sitrat, glutamate, suksinat, oksalat glikosilat, malat, fumarate, tartat dan α -ketobutirat yang membentuk khelat dengan Al dan Fe sehingga P mudah diserap oleh tanaman (Rao, 1994).

4.3.5 Uji Patogenisitas

Uji patogenisitas dilakukan untuk memastikan BPF tidak bersifat pathogen bagi tanaman. Uji patogenitas dilakukan dengan cara mengamati secara visual pada daun tembakau yang diberi perlakuan suntikan isolat yang telah di encerkan hingga 10^8 . Apabila isolat tersebut bersifat pathogen maka akan menyebabkan gejala penyakit pada tanaman. Berikut merupakan hasil pengamatan patogenisitas yang tersaji dalam tabel berikut :

Tabel 12. Uji Patogenisitas pada Daun Tembakau

No	Kode Isolat	Reaksi Setelah di infeksi Isolat
1	KL1A	(-) negatif
2	KL2A	(-) negatif
3	PK1A	(-) negatif
4	PS1A	(-) negatif
5	PS1B	(-) negatif
6	PS3C	(-) negatif
7	MK1A	(-) negatif
8	MK3A	(-) negatif
9	MK3B	(-) negatif
10	MS2A	(-) negatif
11	MS3A	(-) negatif

Perlakuan Isolat terhadap tanaman tembakau memberikan reaksi yang negatif (Tabel 12). Pada daun tidak terjadi gejala nekrosis. Hal tersebut menandakan Isolat BPF tidak bersifat pathogen bagi tanaman dan kemungkinan bisa dikembangkan menjadi pupuk hayati bagi tanaman (Gambar 8). Uji

patogenisitas pada isolat pathogen akan menimbulkan gejala sakit pada tanaman yaitu daun menguning, kering lalu berguguran (Danaatmaja *et al.*, 2009)



Gambar 8. Uji Patogenisitas Pada Tembakau menunjukkan reaksi yang negatif setelah 48 jam inkubasi

4.4 Pembahasan Umum

4.4.1 Pengaruh Lingkungan terhadap Bakteri Pelarut fosfat

Kerapatan tajuk berhubungan dengan biomassa serasah yang ada di lahan. Hubungan antara kadar C-organik dan kerapatan tajuk sebesar $r = 0,34$ menunjukkan nilai positif dengan korelasi lemah (Lampiran 7). Hal ini sejalan dengan pendapat Budiman *et al.* (2015) mengindikasikan bahwa kerapatan tajuk menghasilkan serasah yang lebih banyak karena pohon-pohon yang tumbuh rapat di hutan segera melepaskan daun dan ranting, sebab cahaya tidak cukup untuk proses fotosintesis. Serasah yang ada di lahan kemudian melapuk dan menghasilkan substrat bagi mikroba tanah.

Berdasarkan analisa korelasi diperoleh hasil biomassa serasah akan meningkatkan populasi bakteri pelarut fosfat. Hubungan antara berat serasah dan populasi bakteri pelarut fosfat memiliki nilai positif sebesar $r = 0,52$ menunjukkan korelasi yang sedang (Lampiran 7). Apabila dalam suatu lahan memiliki biomassa serasah yang banyak maka akan menambah input bahan organik di lahan tersebut. Hal ini terbukti pada plot Kawasan Lindung (KL) yang menyerupai Hutan dengan ketebalan serasah mencapai 1.68 cm dan berat serasah 7,83 (ton/ha) memiliki kadar C-organik sebesar 8,32 % sedangkan pada plot Pinus Semusim (PS) memiliki ketebalan serasah 0,10 cm dan berat serasah 0,87 (ton/ha) memiliki kadar C-organik yang rendah sebesar 4,27 %. Sejalan dengan pendapat Marsandi *et al.* (2017), serasah yang jatuh ke tanah akan menambah input bahan organik

pada tanah. Ketika serasah mulai terdekomposisi akan diserap kembali oleh tanaman dan dimanfaatkan oleh mikroba tanah untuk aktivitasnya.

4.4.2 Pengaruh Sifat Kimia terhadap Bakteri Pelarut Fosfat

Kadar C-organik berkorelasi positif terhadap bakteri pelarut fosfat dengan nilai korelasi $r = 0,66$ (Lampiran 7). C-organik merupakan sumber energi bagi aktivitas mikroba tanah. Sejalan dengan pendapat Marista *et al.*, (2013) yang menyatakan bahwa bakteri banyak ditemukan pada daerah rizosfer karena memiliki kandungan bahan organik yang cukup untuk aktivitas bakteri.

P-total tanah berhubungan dengan populasi bakteri pelarut fosfat. Hasil korelasi menunjukkan korelasi yang positif antara P total terhadap total bakteri pelarut fosfat dengan nilai $r = 0,40$ (Lampiran 7). Sesuai dengan pernyataan Ketersediaan P-organik dipengaruhi oleh aktivitas mikroba tanah dengan cara mineralisasi P organik di tanah dan melarutkan P. (Chen *et al.*, 2006). Kecepatan mineralisasi P berkorelasi dengan jumlah substrat. Hal ini mengindikasikan bahwa fosfat organik meningkat seiring dengan proses mineralisasi P semakin aktif (Alexander, 1997; Saraswati dan Ginting, 2006).

P tersedia berhubungan dengan populasi Bakteri Pelarut fosfat dengan nilai $r = 0,27$ yang berarti positif tetapi hubungannya sedang (Lampiran 6). Hal ini sejalan dengan pendapat Marlina (1997) dalam Niswati *et al* (2008) bahwa Populasi mikroba pelarut fosfat dalam tanah akan meningkatkan P tersedia dalam tanah. Meskipun hasil korelasi menunjukkan pengaruh yang positif kadar P tersedia di UB Forest termasuk sangat rendah pH akibat P-organik yang telah di mineralisasi oleh bakteri pelarut fosfat terjerap oleh senyawa Al dan Fe. Sesuai dengan pernyataan Rahayu, *et al.*, (2014) bahwa Ketersediaan P-organik bagi tanaman dipengaruhi oleh aktivitas mikroba, akan tetapi, hasil mineralisasi bersenyawa dengan Al dan Fe yang sukar larut. Selain itu pengaruh vulkanik yang banyak mengandung mineral aloan memiliki kadar aluminium yang tinggi sehingga pengikatan fosfat oleh Al dan Fe juga tinggi. Sesuai dengan pernyataan Saraswati dan Ginting (2006), bahwa tanah vulkanik kaya akan mineral aloan, beberapa asam organik tidak dapat melarutkan fosfat seperti asam benzoate, p-OH benzoate, salisilat dan ptalat.

pH tanah memiliki hubungan yang berbanding terbalik dengan populasi bakteri pelarut fosfat. Pada penelitian ini hubungan pH dengan bakteri pelarut berkorelasi negatif dengan nilai $r = -0.016$ (Lampiran 7). pH masam pada tanah akan menyebabkan populasi bakteri semakin besar. Hal ini tidak sesuai dengan pendapat Taha *et al.* (1969) dalam Saraswati dan Ginting (2006) yang menyebutkan bahwa bakteri pelarut fosfat dapat tumbuh optimum pada pH yang netral. Akan tetapi, menurut pendapat Sanchez (1992) dalam Sudadi *et al.* (2013) yang menyebutkan bahwa besarnya biomassa atau kerapatan sel memberikan pengaruh terhadap perubahan pH. Jumlah mikrobial maka menyebabkan jumlah asam organik yang dihasilkan akan yang menyebabkan pH tanah menjadi masam.



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Diversitas bakteri pelarut fosfat mempunyai hasil yang berbeda pada tiap penggunaan lahan. Perbedaan penggunaan lahan berpengaruh nyata terhadap populasi bakteri pelarut fosfat. Total Bakteri Pelarut Fosfat tertinggi terletak di plot Kawasan Lindung (KL) sebesar 103×10^6 cfu.ml⁻¹ dan terendah sebesar 7×10^6 cfu.ml⁻¹ pada plot Pinus Semusim (PS). Terdapat 11 isolat bakteri yang mampu melarutkan sumber fosfat pada media Pikovskaya ditandai dengan adanya zona bening pada tepian koloni bakteri dengan Indeks zona bening sebesar 2 dan 1.78.
2. Kondisi lingkungan yang berkaitan dengan kerapatan tajuk, serasah, suhu dan kelembaban berpengaruh terhadap bakteri pelarut fosfat. Semakin tinggi kerapatan tanaman yang diperoleh dari proyeksi tajuk dan kondisi lingkungan yang baik serta ketersediaan substrat dapat meningkatkan populasi bakteri pelarut fosfat.

5.2 Saran

Perlu diadakan penelitian lanjutan mengenai identifikasi bakteri pelarut fosfat sehingga dapat mengetahui keragaman bakteri yang ada di UB Forest. Isolat yang didapat perlu dikembangkan menjadi pupuk hayati yang ramah lingkungan untuk meningkatkan ketersediaan P bagi tanaman khususnya yang ada di UB Forest

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, F. N, Siswanto, Bambang, dan Nuraini Yulia. 2015 Pengaruh Pemberian Jenis Bahan Organik Terhadap Sifat Kimia Tanah pada Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Ubi Jalar di Entisol Ngrangkah Pawon Kediri. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 2 (2) : 238-239
- Alexander, M. 1978. *Introduction to Soil Microbiology*. 2nd ed. Willey Eastern Limited. New Delhi.
- Bahig AE, Aly EA, Khaled AA, and Amel KA. 2008. Isolation, characterization and application of bacterial population from agricultural soil at Sohag province, Egypt. *Malaysian Journal of Microbiology*. 4(2): 42-50.
- Bardgett, R. D., 2008. *The Biology of Soil a Community and Ecosystem Approach*. Oxford University Press, New York.
- Bene, J., Beall, H., and Cote, A. 1977. *Trees, Food and People*, IDRC Ottawa.
- Bohn H.I., B.I., McNeal and GA O'Connor. 1979. *Soil Chemistry*. A. Willey. And Sons. Canada
- Budiman M., Hardiansyah, dan Darwati H. 2015. Estimasi Biomassa Karbon Serasah dan Tanahpada Basal Area Tegakan Meranti Merah(*Shorea Macrophylla*) di Areal Arboretum universitas Tanjungpura Pontianak. *Jurnal Hutan Lestari* Vol : 3 (1), 98-107
- Chen YP, Rekha PD, Arun AB, Shen FT, Lai WA, and Young CC. 2006. *Phospate Solubilizing Bacteria from Subtropical Soil and Their Tricalcium Phospate Solubizing Abilites*. *App. Soil Ecol*. 34:33-41.
- Collins, Wanda William and Qualset , Calvin O. 1999. *Biodiversity in Agrosystems*. CRC Press LLC. USA
- Danaatmaja Y., Subandiyah S, Joko T., Sari U.C. 2009. Isolasi dan Karakterisasi *Ralstonia syzygii*. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia* 15(1)
- Departemen Kehutanan. 1997. *Ensiklopedia Kehutanan Indonesia*. Edisi Pertama. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Jakarta.
- Dita, F. L. 2007. Pendugaan laju dekomposisi serasah daun *Shorea balangeran* (korth.)Burck dan *Hopea bancana* (boerl.) Van slooten di Hutan Penelitian Dramaga, Bogor, jawa barat. Skripsi. Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. Jawa Barat
- Doran, J. W. 1980. Soil Microbial and Biochemical changes associated with reduced tillage, *Soil Sci. soc. Am J.*, 44 : 765-771
- Elfianti, D. 2005, Peranan Mikroba Pelarut Fosfat Terhadap Pertumbuhan Tanaman. Jurusan Kehutanan Fakultas Peranian Universitas Sumatra Utara.
- Elsas, Jan Dirk Van, Janer K. Jansson, and Jack T. Trevors. 2007. *Modern Soil Microbiology Second Edition*. CRC Press Taylor & Francis Group. Boca Raton, Fla. London ; New York.

- Fitria R, Zul D., F. dan Bernadeta Leni. 2013. Enumerasi Total Populasi Mikroba Tanah Gambut di Teluk Meranti Kabupaten Riau. FMIPA Binawijaya Pekanbaru
- George, TS., Gregori, PJ., Wood, M., Read, J and Buresh, RJ. 2002. Phosphatase activity and organic acids in the rhizosphere of potential agroforestry species and maize. *Soil Biol. Biochem.* 34:1487-1494.
- Glick, BR. 1995. The enhancement of plant growth by free living bacteria. *Canadian Journal Microbiology* 41: 109-117.
- Gupta M, Kiran S, Gulati A, Singh B, and Tewari R. 2012. Isolation and identification of phosphate solubilizing bacteria able to enhance the growth and aloin-A biosynthesis of Aloe barbadensis Miller. Department of Microbial Biotechnology, Panjab University, Chandigarh 160014, India
- Hardjowigeno. 2007. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Penerbit Pustaka Utama. Jakarta 77-79.
- Hairiah, K. Widiyanto Utami, S.R. Suprayogo, D. Sitompul, S.M. Sunaryo Lusiana, B. Mulia, R. Van Noordwijk, M. dan G. Cadisch. 2000. Pengelolaan Tanah Masam Secara Biologi. ICRAF SE Asia, Bogor. 2-3.
- _____, Ekadinata A, Sari RR, Rahayu S. 2011. Pengukuran Cadangan Karbon: dari tingkat lahan ke bentang lahan. Petunjuk praktis. Edisi kedua. Bogor, World Agroforestry Centre, ICRAF SEA Regional Office, University of Brawijaya (UB), Malang
- _____, Rahayu S. 2007. Pengukuran 'karbon tersimpan' di berbagai macam penggunaan lahan. World Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional Office, University of Brawijaya, Unibraw, Indonesia. 77 p.
- Hanafiah, K A. 2014. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Jakarta: Rajawali Press : 88-89.
- Halvin, J,L., J.D. Beaton., S.L. Tisdale, and W.L. Nelson. 1999. Soil Fertility and Fertilizers. An introduction to Nutrient Management, Sixth ed, Prentice Hall, New Jersey
- Hilda, R. Fraga, .R. 1999. Phosphate Solubilizing Bacteria and Their Role in Plant Growth Promotion. Department of Microbiology. Cuban Research Institute on Sugarcane By-Product (ICIDCA), Havana. Cuba.
- Illmer P, Schinner F. 1992. Solubilization of inorganic phosphates by microorganisms isolated from forest soil. *Soil Biol Biochem* ;24:3 89-95.
- Ilham, Darmansya Ida B.G., Nurjaya I Gusti M.O., dan Kawuri R. 2014. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat pada Tanah Konvensional dan Tanah Organik. *Jurnal Simbiosis* Vol 2 (1) : 173 - 183
- Indriyanto. 2012. Ekologi Kehutanan. Bumi Aksara. Jakarta : 153-155.
- Iswandi, A., D.A. Santosa dan R. Widyastuti 1995. Penggunaan Ciri Mikroorganisme dalam Mengevaluasi Degradasi Tanah. Kongres Nasional VI HITI. 12-15 Desember 1995. Serpong.

- J.M. Anderson and J.S.I Ingram. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility A Handbook of Methods II Second Edition. C.A.B International. United Kingdom.
- Junaedi A., M. Chozin A., Kim KH. 2006. Perkembangan Terkini Kajian Alelopati. Hayati. 13(2)
- Karlen D. L., E.G. Hurley and A.P. Mallarino. 2006. Crop rotation on soil quality at three northern corn/soybean belt location. Agron J. 98: 484-495
- King, K.F.S. 1978. Agroforestry. In Pm.c. 50th Symposium on Trop.Agr. Bul. 303, Dept. of Trop.Agr. Res., R.T.I. Amsterdam.
- Leboffe, M.J. and Pierce, B.E. 2011. A Photographic Atlas for The Microbiology Laboratory. Fourth Edition. Morton Publishing. Colorado.
- Lundgren BO and JB Raintree. 1982. Sustained Agroforestry. In Nestel B (Ed.). 1982. Agricultural Research for Development. Potentials and Challenges in Asia. ISNAR, The Hague, The Netherlands. 37-49.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., and Parker, J., 2000, Brock Biology of Microorganism, Prentice Hall Inc, New Jersey
- Marista E., Khotimah, S., dan Linda, R. 2013. Bakteri Pelarut Fosfat Hasil Isolasi dari Tiga Jenis Tanah Rhizosfer Tanaman Pisang Nipah (*Musa paradisiaca* var. nipah) di Kota Singkawang. Jurnal Protobiont. Vol 2 (2) : 100
- Marlina, M. 1997. Keragaman Bakteri Pelarut Fosfat pada Tanah Dilahan Hutan Primer, Hutan Sekunder, Pertanaman Kopi dan Lahan Kritis di Sumber Jaya Lampung Barat. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 67
- Marsandi F., Hermansyah, Agustian, dan Yasin S. 2017. Keanekaragaman organisme tanah dan hubungannya dengan keanekaragaman spesies tumbuhan kawasan hutan hujan tropis Pinang-Pinang, Padang, Indonesia. Pros Sem Nas Masy Biodiv Indonesia. Vol 3 (2): 131-132
- Maryanti, D. 2006. Isolasi dan uji kemampuan bakteri pelarut fosfat dari rhizosfir tanaman pangan dan semak. Skripsi. Padang. Fakultas Pertanian Universitas Andalas.
- Maryanto J. dan Abubakar. 2010. Pengaruh Konsentrasi Pupuk Hayati Majemuk dan Btuan Fosfat Alam terhadap Serapan P oleh Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.). Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Jendral Soedirman. Purwokerto
- Muardimansah S., Akhbar dan Arianingsih I. 2016. Cadangan Karbon Tanah Pada Berbagai Tingkat Kerapatan Tajuk Di Hutan Lindung Kebun Kopi Desa Nupabomba Kecamatan Tanantovea Kabupaten Donggala. Warta Rimba.
- Mulyoutami, Stefanus, Schalenbourg, Rahayu, Joshi. 2004. Pengetahuan Lokal Petani dan Inovasi Ekologi Dalam Konservasi dan Pengelolaan Tanah Pada Pertanian Berbasis Kopi di Sumberjaya, Lampung Barat. Agrivita Volume 26 Nomor 1 Edisi Maret 2004.

- Musyafa. 2005. Peranan Mikrofauna tanah dalam proses dekomposisi serasah acacia mangium willd. Biodiversitas. 6(1): 63-65.
- M. Sinaga H. A. I, Guchi H., Lubis A, 2015. Hubungan Ketinggian Tempat dan C-organik Tanah Dengan Infeksi FAM Pada Perakaran Tanaman Kopi (Coffea Sp) di Kabupaten Dairi. Jurnal Agroekoteknologi 3 (4)
- Niswati A., Yusnaini S., Arif Ahmad Syamsul M., 2008. Populasi Mikroba Pelarut Fosfat dan P-tersedia pada Rizosfir beberapa Umur dan Jarak dari Pusat Perakaran Jagung (Zea mays L.). Jurnal Tanah Tropikal : 13
- Nurkanto A. 2007. Identifikasi Aktinomisetes tanah hutan pasca kebakaran Bukit Bangkirai Kalimantan Timur dan potensinya sebagai pendegradasi selulosa dan pelarut fosfat. Biodiversitas Vol 8 (4)
- Nuraini, Y., Dewanti A.W., Pratiwi, N., 2016. Viabilitas dan Aktivitas Enzim Fosfatase serta Produksi Asam Organik Bakteri Pelarut Fosfat pada Beberapa Suhu Simpan. Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan Universitas Brawijaya, Malang.
- Nyakpa, M. Y., Pulung, A.G. Amrah. A Munawar, G.B. Hong dan Nurjanah Hakim. 1988. Kesuburan Tanah. BKS/PTN/USAID University of Kentucky WUAE Project.
- Oksana, M. Irfan dan M.U. Huda. 2012. Pengaruh Alih Fungsi Hutan Menjadi Perkebunan Kelapa Sawit Terhadap Sifat Sifat Kimia Tanah. Jurnal Agroteknologi, Vol 3(1): 29-34.
- Panda, R., H. Rahman. Jagabandhu Panda. 2016. Phosphate solubilizing bacteria from the acidic soils of Eastern Himalayan region and their antagonistic effect on fungal pathogens. ICAR Research Complex for NEH Region, Sikkim Centre, Tadong, Gangtok, India
- Parkinson, D. 1998. Linkages between resources availability, microorganisms, and soil invertebrates. Agriculture, Ecosystem and Environment Vol 24: 21-32
- Pradhan N, Sukla LB. 2005. Solubilization of inorganic phosphates by fungi isolated from agriculture soil. African J of Biotechnol 5(10):850-854.
- Pelczar, M.J. dan Chan. E. C. S. 2006. *Dasar-dasar Mikrobiologi Jilid 2*, UI Press. Jakarta.
- Peraturan Menteri Pertanian. No. 70/Permentan/SR.140/ 10/2011 Tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenh Tanah. [http : // http://perundangan.pertanian.go.id/admin/file/Permentan-70-11.pdf](http://perundangan.pertanian.go.id/admin/file/Permentan-70-11.pdf) diakses pada tanggal 15 Juni 2018.
- Prabowo, Yogi, dan Suharyadi, R., 2017. Pemanfaatan Citra Spot 6 untuk Analisis Hubungan Nilai Indeks Vegetasi terhadap Sturktur Vegetasi dalam Pemetaan Ruang Terbuka Struktur Vegetasi dalam Pemetaan Ruang Terbuka Hijau di Kecamatan Mertoyudan, Kabupaten Magelang. Jurnal Bumi Indonesia, 6 (4) : 2-3.
- Priyono. 2011. Alih Fungsi Lahan Pertanian Merupakan Suatu Kebutuhan atau Tantangan. Fakultas Pertanian UNISRI. Surakarta.

- Purwaningsih, S., 2003. Isolasi, Populasi dan Karakterisasi Bakteri Pelarut Fosfat pada Tanah dari Taman Nasional Bogani Nani Wartabone, Sulawesi Utara, Biologi, Vol 3 (1):22- 31.
- Rao, N.S. 1994. Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman. Edisi Kedua. Jakarta: UI-Press
- Rice EL. 1984. *Allelopathy*. Ed ke-2. Orlando: Acad Pr.
- Salim G.A. dan Budiadi. 2014. Produksi dan Kandungan Hara Serasah pada Hutan Rakyat Nglanggeran, Gunung Kidul, D.I Yogyakarta. Jurnal Penelitian Hutan Tanaman. Vol 11 No. 2
- Saraswati R. dan Sumarno. 2008. Pemanfaatan Mikroba Penyubur Tanah sebagai Komponen Teknologi Pertanian. Iptek Tanaman Pangan 3(1)
- Saraswati R., Husen E., Simanungkalit R.D.M . 2007. Metode Analisis Biologi Tanah. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor. 55-66
- Setyaningsih R., Martani E., Hendro B.S. 2001. Dinamika Populasi Mikroorganisme yang Berperan Dalam Nitrifikasi di Beberapa Jenis Tanah Akibat Perlakuan Paraquat. Bio Smart.Vol 3 (1)
- Schaad NW., Jones JB, Chun W. 2001. Laboratory Guide for Identification of Plant Pathogenic Bacteria. 3rd ed. The American Phytopathology Society Press, St.Paul, MN: USA.
- Simanjuntak H. B. 2005. Studi Alih Fungsi Lahan Hutan menjadi Lahan Pertanian terhadap Karakteristik Fisik Tanah (Studi Kasus DAS Kali Tundo, Malang). AGRIC Vol 18 (1) 85 – 101.
- Simanungkalit, R.D.M., R. Saraswati, R.D. Hastuti, E. Husen. 2006. Mikroba Pelarut Fosfat Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Balai Penelitian Tanah. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian: Bogor.
- Sudadi, Widijanto H., dan Putri Habsari Efendi L. 2013. Isolasi Mikroba Asli Tanah Andisol Dieng Dan Kajian Potensinya Sebagai Inokulan Pupuk Hayati Pelarut Fosfat. Jurnal Tanah dan Agrokimat Vol 10 (2)
- Sugiyarto, Efendi E, Mahajoeno E, Sugito Y, Handayanto E, Agustina L. 2007. Preferensi berbagai jenis makrofauna tanah terhadap sisa bahan organik tanaman pada intensitas cahaya berbeda. Biodiversitas Vol 7 (4): 96- 100.
- Sulaeman, Suparto dan Eviati. 2005. Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. Balai Penelitian Tanah. Bogor
- Sulasih dan Widawati S. 2006 Populasi Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) di Cikaniki, Gunung Botol, dan Ciptarasa, serta Kemampuannya Melarutkan P Terikat di rMedia Pikovskaya Padat. Biodiversitas, Vol 7 (2)
- Suriadikarta, Didi Ardi., Simanungkalit, R.D.M. (2006). Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Jawa Barat: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor. 141
- Taiz, L. and E. Zeiger. 1991. Plant Physiology. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. California.

- Tarmedi, E, 2006, Keanekaragaman cendawan mikoriza arbuskula di hutan sub pegunungan Kamojang Jawa Barat, Skripsi, Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Widawati S., dan Sulasih. 2006. Augmentasi Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) Potensial sebagai Pemacu Perumbuhan Caysin (*Brasia caventis* Oed.) di Tanah Marginal. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Bogor.
- Visser S. and Parkinson D. 1992. Soil Biological Criteria as Indicators of Soil Quality : Soil Microorganisms. Am. J. Alternative Agric. 7 : 33-37.
- Widawati, S., Suliasih dan Muharam, A. 2010. Pengaruh Kompos Yang Diperkaya Penambat Nitrogen dan Pelarut Fosfat Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kapri. Jurnal Hortikultura 20(3) : 20.
- Yafizham. 2003. Aplikasi mikroba pelarut fosfat dan pupuk P terhadap produksi kacang tanah pada tanah podsolik Merah kuning. J. Agrotropika Vol 8 (1): 18-22.
- Yoshida, T. 1978. Microbial metabolism in rice soils. p. 445-463. *In*: Soil and Rice. IRRI. Los Banos, Philippines.
- Zul D., S. Denzel, and J. Overmann. 2007. Effect of plant diversity and water content on the bacterial communities in soil lysimeters : Implications for the determinant of bacterial diversity. *Applied Enviromental Microbiology* 73 : 69

